

**UNIVERSITÀ DELLA VALLE D'AOSTA
UNIVERSITÉ DE LA VALLÉE D'AOSTE**

DIPARTIMENTO DI SCIENZE UMANE E SOCIALI

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE DELLA FORMAZIONE PRIMARIA

ANNO ACCADEMICO 2018/2019

TESI DI LAUREA

Educare alla sostenibilità: l'*Inquiry-Based Science Education* come approccio
didattico per promuovere l'educazione alimentare ed ecologica

DOCENTE RELATORE: Beatrice Nervo

STUDENTE: Nicole Jordan 14 A05 128

Indice generale

Capitolo primo.....	6
1.1 La biodiversità.....	6
1.2 L'importanza della biodiversità per garantire il funzionamento ecosistemico...	7
1.3 Le minacce alla biodiversità.....	17
1.4 Cause e conseguenze del degrado ambientale.....	37
1.5 Sostenibilità della dieta.....	43
Capitolo secondo.....	47
2.1 Esigenza di un'educazione sostenibile.....	47
2.2 Le misconcezioni degli studenti sui temi ecologici e di sostenibilità alimentare	55
2.3 Pensare e fare valutazioni con Inquiry Based Science Education (IBSE).....	66
Capitolo terzo.....	74
3.1 Proposte didattiche di educazione alimentare ed ecologica.....	74
Conclusioni.....	118
Considerazioni personali.....	120
Bibliografia.....	121
Sitografia.....	125

Introduzione

Il 25 settembre 2015 l'Organizzazione delle Nazioni Unite ha approvato l'Agenda globale per lo sviluppo sostenibile, costituita da 17 obiettivi e relativi 169 target da realizzare a livello mondiale entro il 2030. Il denominatore comune di ciascuno di questi goal è l'aggettivo "sostenibile": un invito, una necessità, un'emergenza. Per la prima volta è stato espresso un chiaro giudizio sull'insostenibilità dell'attuale modello di sviluppo globale sia sul piano ambientale che economico e sociale. Ma cosa si intende per sviluppo sostenibile? Esso è la capacità di soddisfare le necessità della presente generazione, senza compromettere a quelle future la possibilità e la capacità di soddisfare le proprie (Commissione Brundtland, 1987). In definitiva è imparare a vivere nei limiti fisici del nostro pianeta, in maniera dignitosa ed equa per tutti e senza oltrepassare le capacità dei sistemi naturali di assorbire gli scarti delle nostre attività produttive (WWF). Fra gli obiettivi dell'Agenda emergono la gestione sostenibile dell'acqua per tutti, garantire modelli di produzione e di consumo sostenibili, combattere i cambiamenti climatici, conservare ed utilizzare in modo durevole gli oceani e le risorse marine, ripristinare gli ecosistemi terrestri (foreste) contro la desertificazione ed arrestare la perdita di diversità biologica.

Il ruolo della scuola di oggi è dunque quello di educare le nuove generazioni alla sostenibilità (ambientale e sociale), al rispetto per l'ambiente naturale e per le forme di vita che lo popolano. Nel mio lavoro mi concentrerò principalmente sull'educazione alla sostenibilità alimentare, uno strumento che consente al bambino, inteso come futuro cittadino, di operare scelte consapevoli ed in linea con i principi dello sviluppo sostenibile. Ma la scuola di oggi deve affrontare un'altra sfida, di carattere squisitamente didattico: aprirsi a metodologie di insegnamento che favoriscano lo sviluppo del pensiero critico, la discussione aperta, l'investigazione e la formulazione di ipotesi, in cui l'errore costituisce l'unico elemento formativo in grado di orientare la ricerca del sapere didattico, di far fare agli alunni marcia indietro per riorganizzare l'investigazione verso nuovi orizzonti di significato.

Molti studi infatti hanno evidenziato un preoccupante declino nell'interesse dei giovani verso le scienze e la matematica (Eurobarometer 2005, 2010; PISA 2006, 2009). Il rapporto della Commissione Rocard 2007 "*Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the future of Europe*", istituito allo scopo di individuare nuove pratiche per promuovere l'interesse scientifico negli alunni, ha sottolineato il legame tra i metodi d'insegnamento e lo sviluppo di attitudini positive verso le scienze, rintracciando pertanto il motivo di questo disinteresse per l'ambito scientifico nel modo in cui tali discipline vengono insegnate nei contesti scolastici. Per ovviare a questo inconveniente il rapporto raccomanda l'utilizzo nell'ambito della didattica delle scienze di una metodologia induttiva basata sull'investigazione (*bottom-up*), vale a dire dell'approccio pedagogico *Inquiry Based Science Education* (IBSE). Diversi studi hanno dimostrato l'efficacia di tale proposta nel migliorare il coinvolgimento degli studenti nell'apprendimento delle scienze, incoraggiandoli a porre domande, a collaborare attivamente e favorendo così la motivazione e l'interesse verso i temi scientifici (Bentley et al., 2007).

L'IBSE è efficace in quanto sviluppa competenze che trascendono l'ambito scolastico: saper prendere decisioni, pensare criticamente, sapersi adattare, essere tolleranti ed autonomi; inoltre è un metodo fortemente inclusivo, fattore importantissimo in una società della conoscenza come la nostra, dove la competenza scientifica è indispensabile (Scapellato, 2017).

Ecco allora che diventa importante coniugare l'esigenza di un'educazione alla sostenibilità alimentare in ottica ambientale, con una metodologia didattica attiva che promuove l'investigazione e la costruzione del sapere scientifico da parte degli alunni, passando da una trasmissione sterile e passiva di contenuti scientifici ad un apprendimento significativo, poiché sperimentato.

Il mio lavoro di tesi si articola in tre parti. Nella prima parte presento il contesto epistemologico nel quale si inserisce l'argomento oggetto della mia ricerca: l'importanza della biodiversità ecologica, le minacce ad essa ed un quadro sul moderno cambiamento ambientale, con riferimento al ruolo dell'industria alimentare in questo scenario. La seconda parte delinea le principali misconcezioni

degli studenti su tematiche ambientali, ecologiche e di sostenibilità oltre al quadro concettuale che rappresenta l'orizzonte epistemologico in cui si inserisce l'approccio pedagogico IBSE. Nell'ultima parte illustro un possibile percorso di indagine sul campo attraverso proposte didattiche concrete basate sull'investigazione scientifica e rivolte a studenti della scuola primaria.

L'obiettivo di questa tesi è analizzare l'impatto che l'agricoltura e la moderna industria alimentare hanno sulla biodiversità e sul funzionamento ecosistemico, di fare emergere il punto di vista degli studenti su tali problematiche al fine di poter agire in maniera attiva nelle scuole, proponendo interventi pratici e mirati sui temi ecologici ed alimentari in linea con gli orizzonti normativi scolastici in cui queste discipline sono iscritte, intendo inoltre sensibilizzare gli allievi al problema della loro impronta ecologica, in particolare riguardo all'alimentazione. Attraverso la proposta di un approccio basato sull'investigazione (IBSE), vorrei trasmettere la curiosità per l'argomento e far comprendere agli allievi come le nostre azioni sono strettamente connesse alle dinamiche ecologiche dell'ambiente in cui viviamo. Per esempio, utilizzando il tema della dieta sostenibile, vorrei sensibilizzare gli allievi al problema dello squilibrio nel ciclo del carbonio che, in seguito all'eccessiva produzione di CO₂ ed altri gas, porta all'aumento dell'effetto serra e al riscaldamento globale.

Capitolo primo

*“Niente esiste di per sé, ma solo in relazione
alle altre forme di vita.”*

(Charles Darwin)

1.1 La biodiversità

Quando si parla di biodiversità, o diversità biologica, si intende la ricchezza in cui si manifesta la vita sul nostro pianeta, ossia l'insieme degli ecosistemi, dei patrimoni genetici delle forme viventi, le specie animali, le piante, i funghi, i batteri e i microrganismi che oggi sono presenti sulla Terra (Bologna, 2013). Secondo le recenti indagini del WWF fino ad oggi sono state descritte un milione e settecento mila specie, anche se si ipotizza che il numero dei viventi sul nostro pianeta potrebbe raggiungere i dodici milioni se si calcolano tutti quelli che devono ancora essere scoperti. Le specie animali sono circa 1.318.000, di cui 1.265.000 invertebrati e 52.500 vertebrati (2.500 pesci, 9.800 uccelli, 8.000 rettili, 4960 anfibi, 4.640 mammiferi); vi sono poi 270.000 specie di piante, 10.000 specie di batteri, 72.000 specie di funghi, 50.000 specie di protisti (WWF). Oltre all'elevatissimo numero di viventi che popolano il pianeta Terra, e quindi alla somma di tutto il patrimonio genetico (varietà dello stesso gene), la biodiversità si esplica nell'esistenza di moltissimi ecosistemi, unità fondamentali in ecologia. L'ecosistema è una serie complessa ed efficiente di relazioni e interazioni che hanno luogo tra i viventi, e tra gli esseri viventi e l'ambiente abiotico (Curtis et al., 2013). In un ecosistema si verifica un costante scambio di materia ed energia all'interno di un determinato ambiente fisico. Alcuni esempi di ecosistemi sono uno stagno, un fiume, un prato, una determinata porzione di oceano, all'interno dei quali ogni organismo vivente entra in relazione con l'ambiente fisico scambiando energia e materia.

1.2 L'importanza della biodiversità per garantire il funzionamento ecosistemico

Per comprendere meglio il valore che la biodiversità apporta al funzionamento ecosistemico, bisogna analizzare i tre parametri principali che caratterizzano ogni ecosistema.

Il primo parametro fondamentale di un ecosistema è la presenza di una fonte di energia primaria, il Sole e di numerosi scambi energetici che ne derivano. Di tutta l'energia che esso sprigiona, soltanto il 51% delle radiazioni solari elettromagnetiche riescono a oltrepassare lo strato atmosferico e a raggiungere la superficie terrestre. Qui vengono in buona parte assorbite dagli oceani dando il via al processo di evaporazione e al ciclo dell'acqua, una parte di esse sarà assorbita dal suolo e riemessa sotto forma di calore (infrarossi), mentre una minima parte (solo lo 0.1%) è utilizzata dagli organismi viventi vegetali per svolgere la fotosintesi clorofilliana (Curtis et al., 2013). L'energia solare catturata dalle piante e trasformata in biomassa verrà poi immagazzinata e trasferita in modo unidirezionale da un organismo all'altro, in una serie di diversi livelli di nutrizione chiamati livelli trofici. Alla base della catena alimentare, infatti, ci sono i produttori primari. Essi sono organismi vegetali terrestri (piante) o marini (alghe) che sfruttano l'energia solare, l'acqua e l'anidride carbonica presente nell'ambiente circostante per sintetizzare molecole di glucosio attraverso la fotosintesi. Gli organismi vegetali vengono definiti autotrofi, poiché sono in grado di sintetizzare autonomamente le molecole organiche necessarie al loro sostentamento. Gli scarti di questo processo vengono immessi in atmosfera e costituiscono preziosi fonti di energia chimica per altri organismi: l'ossigeno, primo fra tutti è direttamente utilizzato dagli organismi aerobi (compreso l'uomo e gli animali) per svolgere la respirazione cellulare. Il termine produttori primari sottolinea il loro essere unici e fondamentali per la sopravvivenza di tutti gli ecosistemi terrestri e marini: infatti, la fotosintesi è l'unico processo biologico in grado di catturare l'energia solare, da cui dipende la vita sulla Terra e di trasformarla in energia chimica, ma anche di convertire l'anidride carbonica per produrre biomassa. La massiccia produzione di biomassa costituisce il

secondo parametro di funzionamento ecosistemico. Nello specifico, la produttività di un vegetale è la quantità di energia che esso riesce a catturare mediante la fotosintesi (produttività lorda). Se a ciò si toglie il quantitativo di energia che l'organismo destina al mantenimento delle attività metaboliche, si ottiene la produttività primaria netta, ossia l'energia (espressa in calorie) accumulata nei composti chimici o la biomassa, ossia il peso totale secco espresso in chilogrammi o tonnellate per metro quadrato. Questa massa di materia vegetale presente in una determinata area, sarà direttamente disponibile per il livello trofico successivo: quello dei consumatori primari.

Essi sono organismi erbivori che, nutrendosi, permettono all'energia e alle molecole organiche contenute nelle piante di entrare nel mondo animale: buona parte di questa energia chimica servirà per mantenere le funzioni metaboliche o per permettere la ricerca di cibo, la riproduzione, la fuga dai predatori; la restante parte invece verrà accumulata nei tessuti sotto forma di biomassa animale. Più in alto nei livelli trofici ci sono i consumatori secondari ovvero carnivori che si nutrono di altri animali (erbivori), sfruttando parte delle sostanze organiche per accrescere la loro biomassa; soltanto una piccola quota (circa il 10%) dell'energia solare accumulata dalla pianta verrà però trasferita al livello successivo e quindi convertita in biomassa animale dagli erbivori e dai carnivori.

L'ultimo livello trofico, con il quale si chiude la catena alimentare è quello dei detritivori: organismi che si nutrono dei prodotti di rifiuto della comunità. Tra questi i saprofagi, come iene, condor, gipeti, avvoltoi sono animali che prediligono carcasse di altri animali morti piuttosto che la predazione; i decompositori invece sono batteri, funghi, lombrichi, insetti e molluschi che degradano le macromolecole di sostanze organiche in decomposizione. La loro importante funzione è quella di trasformare le molecole organiche dei prodotti animali e vegetali di scarto (foglie morte, resti animali, feci, rami e radici) in molecole inorganiche semplici (sali minerali, e gas) che vengono restituite al suolo e che serviranno nuovamente per i produttori primari. Con gli organismi decompositori si chiude la catena alimentare che permette all'energia catturata dagli organismi vegetali di attraversare tutte le reti

trofiche fino a ritornare nell'ambiente per essere nuovamente utilizzata dai produttori primari. Il funzionamento ecosistemico fino a qui descritto è reso possibile grazie alla ricchissima varietà di biodiversità presente sulla Terra che è ripartita all'interno dei cinque regni dei viventi (animali, piante, funghi, protisti e monere) in stretta relazione tra loro e con l'ambiente a cui appartengono.

Il terzo parametro che garantisce il buon funzionamento di ogni ecosistema è la presenza di cicli biogeochimici, mediante i quali avviene il passaggio di diverse sostanze chimiche dall'ambiente abiotico (atmosfera, acqua, suolo) agli esseri viventi e viceversa. Il loro nome deriva dal fatto che in essi sono coinvolte sostanze chimiche, come ad esempio carbonio, acqua, azoto, fosforo e molti altri sali minerali; componenti geologiche e quindi l'atmosfera, la geosfera e l'idrosfera e in ultimo quelle biologiche ovvero l'insieme di tutti i produttori, consumatori e detritori che rendono possibili gli scambi.

Il ciclo del carbonio e dell'azoto sono quelli che prenderò in analisi in quanto sono maggiormente correlati alle problematiche ambientali che tratterò in seguito.

Il carbonio è l'elemento chimico che costituisce l'ossatura di ogni molecola biologica ed è presente sul nostro pianeta nell'ordine di migliaia di miliardi di tonnellate sotto forma di anidride carbonica gassosa nell'atmosfera, di carbonati nella litosfera e di bicarbonati nell'idrosfera. Il ciclo del carbonio descrive l'insieme di passaggi di questo elemento, dall'ambiente chimico-fisico agli organismi viventi che lo abitano e viceversa. Attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana, gli organismi autotrofi come le piante e il fitoplancton marino, immagazzinano grandi quantità (circa 40 miliardi di tonnellate all'anno) di carbonio sotto forma di anidride carbonica, che verrà assorbita a sua volta dai consumatori primari e secondari; questa sottrazione ingente di carbonio dall'atmosfera è tuttavia bilanciata dall'attività di respirazione cellulare degli organismi aerobi, i quali per vivere, consumano ossigeno e liberano come prodotto di scarto anidride carbonica nell'aria e nelle acque. Una grande quantità di carbonio inoltre, più di 700 miliardi di tonnellate (Curtis et al., 2013), è contenuto all'interno di corpi morti di piante,

animali ed altri organismi (foglie cadute, conchiglie, escrementi) che si accumulano sul suolo o nelle acque e che hanno immagazzinato durante il loro ciclo vitale grandi quantità di questo elemento. A degradare questa quantità di carbonio ci sono gli organismi decompositori come batteri e funghi (aerobi o anaerobi) che attraverso speciali enzimi degradano la materia organica emettendo come prodotto di scarto metabolico l'anidride carbonica. Questo processo che va dall'atmosfera e dalla litosfera ai viventi è ciclico ed è mantenuto in perfetto equilibrio anche grazie al sistema di scambi gassosi che avviene tra l'aria e le superfici oceaniche: infatti quando la concentrazione di anidride carbonica nell'aria è elevata, parte di CO_2 viene disciolta negli oceani; viceversa se questi ultimi ne contengono in elevate quantità, la rilasciano in atmosfera. Grazie a questo processo, la quantità di CO_2 presente negli oceani è indice della pressione parziale di questo gas in atmosfera.

Ad interferire con il ciclo del carbonio e, in modo particolare, con la quantità di anidride carbonica emessa in atmosfera ci sono le attività antropiche che, negli ultimi decenni, hanno aumentato in maniera significativa l'emissione di CO_2 . L'estrazione di combustibili fossili (petrolio e carbone) dai giacimenti formati più di 300 milioni di anni, ha fatto sì che grandi quantità di anidride carbonica derivata dalla loro combustione entrassero nel ciclo del carbonio ad una grande velocità. A ciò si aggiunge anche l'incremento dell'attività industriale su scala globale che ha aumentato ulteriormente le emissioni di CO_2 . Più avanti analizzeremo nel dettaglio i rischi ambientali e climatici che l'alterazione del ciclo del carbonio sta provocando.

Il secondo ciclo che regola il funzionamento ecosistemico è quello dell'azoto. Questo composto chimico costituisce il 78% dei gas atmosferici presenti sulla Terra, tuttavia nella sua forma atmosferica (N_2) non riesce ad essere utilizzato dagli organismi viventi che sfruttano invece l'azoto presente nei minerali del suolo per sintetizzare amminoacidi e basi azotate. Il ciclo dell'azoto descrive il passaggio di tale elemento dal suolo agli esseri viventi all'atmosfera attraverso il susseguirsi di diverse fasi. La prima fase è l'azoto-fissazione e l'ammonificazione da parte di funghi e batteri: l'azoto presente nelle sostanze organiche in decomposizione sul

suolo viene utilizzato dai batteri azotofissatori per sintetizzare le proprie proteine e liberare l'azoto di scarto sotto forma di ammoniaca (NH_3) e ioni ammonio (NH_4^+). Nella seconda fase, la nitrificazione, alcuni batteri del suolo sono capaci di ossidare i due composti per ottenere energia e di convertirli in nitriti (NO_2^-) e nitrati (NO_3^-). L'ultimo passaggio del ciclo dell'azoto è l'assimilazione: il nitrato viene assorbito dalle radici delle piante e, mediante dispendio energetico, viene ritrasformato in ione ammonio e organicato, ossia utilizzato per sintetizzare proteine, acidi nucleici e amminoacidi utili alla pianta. Quando la pianta morirà verrà nuovamente decomposta e ricomincerà il ciclo dell'azoto. Una parte di nitrati presenti nel sottosuolo però si perdono, in quanto vengono scissi e denitrificati da alcuni batteri (detti denitrificatori) che liberano azoto gassoso in atmosfera (N_2). Anche il ciclo dell'azoto, così com'è, si trova in un costante e perfetto equilibrio: gli azotofissatori provvedono all'organizzazione dell'azoto, che entra così a far parte del metabolismo degli organismi viventi. Ogni atomo di azoto dei nostri corpi è stato in un qualche momento organicato e processato da un organismo vivente che ce lo ha preparato nella forma adatta per il nostro metabolismo, che noi abbiamo assunto attraverso il nutrimento. L'azoto, come il carbonio, si trasferisce da un organismo all'altro fino a quando, al termine del ciclo, anche l'azoto viene restituito alle matrici gaiane (le componenti dove si svolge l'attività della biosfera e dove la materia viene riciclata: componente gassosa (atmosfera), liquida (idrosfera) e solida (litosfera)) ad opera degli organismi denitrificatori (Barbiero, 2017). Nel prossimo paragrafo, tratterò di come lo sviluppo delle tecniche agricole e l'utilizzo massivo di fertilizzanti a base di azoto sintetico, o reattivo, stanno alterando il naturale ciclo dell'azoto, con importanti conseguenze sul piano del funzionamento ecosistemico.

Per comprendere l'importanza di un dato elemento presente sulla Terra se ne calcola il tasso di ricircolo (rapporto tra il flusso di un elemento che viene organicato e quello che esce dal ciclo della biosfera): esso indica il numero di volte che un dato elemento viene organicato prima di non essere più riciclato dalla biosfera. Un esempio è dato dal carbonio, il cui tasso di ricircolo è di duecento (Barbiero, 2017), ovvero ogni atomo dopo essere organicato viene scambiato duecento volte prima di

uscire definitivamente dal ciclo e di depositarsi nel sottosuolo. Questo importante indicatore fornisce un'idea di come i cicli biogeochimici amplifichino la disponibilità di elementi per creare molta più vita: una filosofia tutt'altro che usa e getta!

Attraverso l'analisi dei tre parametri fondamentali di ogni ecosistema è possibile rendersi conto del ruolo fondamentale che la biodiversità riveste nella regolazione di tutti i processi biologici ed ecologici presenti sul nostro pianeta.

Più nel dettaglio, si nota come la massiva presenza di specie animali, vegetali e dei numerosi ecosistemi ad esse correlate apportino al genere umano benefici che il *Millennium Ecosystem Assessment* (2005) ha chiamato servizi ecosistemici ed ha suddiviso in quattro categorie: servizi di supporto, di fornitura, di regolazione e culturali. I servizi di supporto comprendono il ciclo dei nutrienti, la produzione primaria, la formazione del suolo, la fotosintesi clorofilliana e la purificazione delle acque. La fornitura è quella di cibo, fibre (legno, cotone, ecc.), acqua, risorse energetiche, sostanze biochimiche e farmaci. Fra i benefici di regolazione c'è l'impollinazione ad opera di alcuni insetti, il controllo della qualità dell'aria, la regolazione climatica, il ciclo dei rifiuti, l'assesto idrogeologico e la barriera alla diffusione di malattie. Per ultimo, i servizi culturali comprendono i benefici estetici, spirituali e ricreativi che gli ecosistemi forniscono all'uomo.

Esiste un importante lavoro pubblicato da Robert Costanza e da altri studiosi nel 1997 intitolato "*The value of the world's ecosystem services and natural capital*" che calcola il valore monetario dei servizi ecosistemici; questo studio ha preso in considerazione diciassette servizi degli ecosistemi per sedici biomi (marini, di barriera corallina, costieri, di foresta tropicale, di foresta temperata, di praterie, di zone umide, di mangrovie, di laghi e fiumi, di deserti, di tundra, di ghiaccio e roccia, di zone agricole e zone urbane) ed è giunto alla conclusione che il valore monetario complessivo di tali servizi per l'intera biosfera si aggira tra i 16.000 e i 54.000 miliardi di dollari annui, con una media annuale di 33.000 miliardi di dollari (Bologna, 2013).

Un importante servizio di regolazione, per esempio, è dato dal ruolo degli apoidei, una famiglia di insetti imenotteri fra i quali spiccano l'ape mellifera, responsabili del processo di impollinazione delle angiosperme e del rimescolamento del genotipo vegetale. L'impollinazione entomofila è considerata uno dei servizi di regolazione eco-sistemica più importanti per il benessere e l'economia umana (WWF); lo stesso Einstein affermò:

“Se l'ape scomparisse dalla terra, all'umanità resterebbero quattro anni di vita; niente più api, niente più impollinazione, niente più piante, niente più animali, niente più esseri umani”.

Infatti, se si considerano solo le api selvatiche, esse sono 20.000 specie di animali che insieme garantiscono l'impollinazione dei fiori da cui dipende il 35% della produzione agricola mondiale, con un valore economico stimato ogni anno di oltre centotrentacinque miliardi di euro a livello globale e ventidue miliardi di euro in Europa. Se si considerano invece le api selvatiche e quelle domestiche, esse sono responsabili del 70% dell'impollinazione delle specie vegetali viventi sul pianeta. Da ciò ne deriva che, grazie agli insetti apoidei, ma anche ad altre specie che contribuiscono in buona misura a questo processo (uccelli, coleotteri, vespe, falene, farfalle e pipistrelli), gli ecosistemi siano ricchi di biodiversità e biomassa vegetale che a sua volta costituisce la fonte di energia primaria per la sopravvivenza dei consumatori primari e di quelli che occupano i livelli trofici successivi.

Connesso al processo di impollinazione e di riproduzione delle specie vegetali c'è la disseminazione delle piante, ossia l'operazione naturale di dispersione di semi, frutti e spore ad opera della pianta stessa o di agenti esterni su un'area più estesa possibile. Tra le varie forme di disseminazione, molte delle quali sono ad opera del vento (dente del leone), dell'acqua (castagna d'acqua) o della pianta stessa (geranio) ce n'è una che è resa possibile grazie all'aiuto involontario degli animali, perciò si parla di zoocoria. Alcune piante producono semi con una particolare struttura che aderisce al pelo degli animali, in modo tale da poter essere trasportati il più lontano possibile per poter crescere in zone meno competitive. Altre invece sviluppano frutti molto visibili, gustosi e profumati per attirare alcune specie di animali (come ad

esempio gli uccelli) i quali, cibandosene, li disperderanno lontano dalla pianta madre attraverso gli escrementi. La disseminazione è un importante servizio di regolazione ecosistemica reso possibile grazie alla ricca presenza di biodiversità sul pianeta. Un grande apporto in termini di regolazione e protezione dall'erosione e dalle inondazioni delle zone litorali è dato dalla presenza delle barriere coralline: le strutture biogeniche più grandi presenti sul nostro pianeta tanto da rendersi visibili anche dallo spazio. Esse si trovano nei mari tropicali e sono costituite da formazioni rocciose sottomarine dovute alla sedimentazione degli scheletri calcarei dei coralli, piccoli polipi radunati in colonie e appartenenti alla famiglia de Cnidari Antozoi. Per poter sopravvivere e nutrirsi, i coralli hanno instaurato una simbiosi con le alghe zooxantelle, organismi autotrofi che forniscono loro ossigeno e prodotti di scarto dalla fotosintesi e che a loro volta utilizzano i prodotti di rifiuto del metabolismo dei polipi per la propria fotosintesi, procurandosi così quei nutrienti (fosfati, nitrati, anidride carbonica) che non sono presenti in concentrazione sufficiente nell'ambiente esterno. Per poter svolgere la fotosintesi clorofilliana, le alghe zooxantelle necessitano di luce solare ed è per questo che le barriere coralline sono collocate generalmente entro i sessanta metri di profondità.

Queste strutture rocciose apportano grandi benefici sia all'ecosistema marino che all'uomo, tanto da essere state chiamate le foreste tropicali dell'oceano. Infatti, benché coprano appena l'1% della superficie degli oceani esse garantiscono cibo e riparo al 25% delle specie marine, garantendone quindi la sopravvivenza. Esse svolgono inoltre un'importante funzione di regolazione, proteggendo le coste dal moto ondoso e quindi riducendo il rischio di inondazioni e allagamenti, tempeste ed erosione delle coste. Se infatti le mareggiate arrivassero sul litorale senza il freno delle barriere coralline, l'energia delle onde provocherebbe la distruzione di moltissime comunità che abitano a pochi metri dal mare. Secondo uno studio condotto dall'università di Bologna e pubblicato sulla rivista Nature Communications questa capacità di mitigazione e assorbimento è stata quantificata su scala globale e confrontata con quella dei frangiflutti artificiali costruiti dall'uomo. I risultati mostrano che le barriere coralline sono in grado di assorbire

fino al 97% dell'energia distruttiva delle onde e l'analisi costi-benefici evidenzia come gli sforzi conservativi delle barriere coralline siano più convenienti e vantaggiosi rispetto alla creazione di barriere frangiflutti artificiali: il costo medio è dieci volte inferiore, con il vantaggio che le barriere coralline offrono anche molti benefici legati al turismo. Senza di esse infatti, il mercato turistico dei *reef* subirebbe importanti perdite in termini di guadagno economico legato al servizio estetico che offrono.

Un altro servizio di regolazione ecosistemica reso possibile grazie alla presenza di biodiversità è il processo di riciclo dei rifiuti da parte degli ecosistemi. Ogni sostanza di scarto (di derivazione antropica e non) viene nel tempo degradata dall'ambiente grazie all'azione di animali, funghi e batteri presenti nel suolo o nelle acque o per mezzo di fattori ambientali come l'erosione da parte degli agenti atmosferici. A seconda del tipo di rifiuto, gli ecosistemi impiegano un diverso arco temporale per degradarlo. Nel caso degli scarti organici essi vengono scissi da funghi e batteri nelle loro macromolecole e reimmessi all'interno del ciclo vitale grazie ai produttori primari. Per quanto riguarda i rifiuti non organici di derivazione industriale (tessuti, imballaggi di carta o di plastica, vetro, alluminio ceramica o rifiuti elettronici), essi possono rimanere nell'ambiente anche centinaia o migliaia di anni a seconda di quanto tempo impiega il nostro pianeta per degradarli e smaltirli. Per fare un paragone i tempi di smaltimento più rapidi sono quelli di frutta e verdura (cinque o sei settimane) ma anche carta e cartone (entro i tre mesi); le scatole di latta impiegano cinquanta anni e quelle di alluminio duecento. La plastica e il vetro invece hanno tempi di decomposizione record: fino a quattrocentocinquanta anni per una comune bottiglia di plastica (la quale comunque non verrà mai del tutto degradata) e un milione di anni per una bottiglia di vetro. Alcuni tipi di rifiuti invece, come le batterie delle autovetture o i dispositivi tecnologici, impiegano ancora più anni per essere smaltiti dall'ambiente, questo perché al loro interno sono contenute sostanze altamente tossiche e resistenti come piombo, cadmio, cloruro di zinco e mercurio.

La grande varietà di biodiversità presente sul nostro pianeta, in particolar modo quella relativa alla produzione primaria netta, apporta un altro grande beneficio che riguarda la fornitura di numerosi prodotti che l'uomo sfrutta per migliorare la propria sopravvivenza. Un esempio significativo è dato dal grande consumo di legno e di prodotti forestali da parte dei paesi mondiali: secondo i dati della FAO relativi all'anno 2017 la produzione mondiale di legno tondo è di 3797 milioni m³, un dato in aumento del 21% rispetto al 1980; la produzione di pellet è di 33 milioni di tonnellate (+12% dal 2016) e quella di segatura è di 485 milioni m³ (+26% dal 2000). Il consumo mondiale di legname è utilizzato dall'uomo come combustibile ma anche come materiale da costruzione.

Un altro servizio di fornitura reso possibile dalla grande biodiversità è quello relativo ai principi attivi che l'uomo estrae dai vegetali per la produzione di farmaci: estratti, oli, tinture e sostanze che derivano direttamente da alcune piante e che vengono lavorate ed utilizzate come principi attivi per la moderna farmacologia. Un esempio è quello della comune Aspirina che viene sintetizzata dall'acido salicilico estratto direttamente dalla corteccia del salice, ma anche del taxolo, un prodotto antitumorale che deriva dall'albero *Taxus brevifolia*.

Per concludere questo elenco di benefici che l'uomo trae dalla presenza di una grande biodiversità c'è l'utilizzo di suolo terrestre (compreso quello per la produzione di foraggio per gli animali da allevamento) che l'uomo sfrutta per produrre gli alimenti utili alla sua sopravvivenza. Secondo una stima della FAO, nel 2050 gli abitanti mondiali raggiungeranno la soglia di nove miliardi e per sfamarli con l'attuale regime alimentare, dovranno essere utilizzati i due terzi delle terre arabili del pianeta.

1.3 Le minacce alla biodiversità

Secondo quanto descritto nei paragrafi precedenti, il pianeta Terra dispone di un grande numero di meccanismi autoregolativi in grado di mantenere uno stato di equilibrio su più livelli: la presenza di diversi livelli trofici garantisce lo scambio di energia tra produttori primari, erbivori e carnivori; il ciclo del carbonio regola la quantità di anidride carbonica presente nell'ambiente e la temperatura globale; il ciclo dell'azoto rende possibile il riciclo di sostanze organiche in decomposizione rendendole nuovamente biodisponibili per i produttori primari. Tutto ciò è possibile grazie ad una quantità innumerevole di biodiversità.

“La biodiversità costituisce l’infrastruttura che sostiene tutta la vita sulla Terra. I sistemi naturali e i cicli biogeochimici che la diversità biologica genera consentono un funzionamento stabile dell’atmosfera, degli oceani, delle foreste, dei vari territori e dei bacini idrici. Essi costituiscono i prerequisiti per l’esistenza della società umana e di tutte le altre specie che abitano il nostro Pianeta” (WWF).

Tuttavia, negli ultimi decenni, le attività antropiche hanno dato il via ad una serie di cambiamenti su scala globale che, ad oggi, si stanno verificando come una seria minaccia per la biodiversità mondiale: “siamo nel mezzo della sesta estinzione, causata questa volta solamente dalla trasformazione antropogenica dell’ambiente naturale” (Kolbert, 2014).

Per monitorare lo stato della biodiversità globale e la salute del pianeta il WWF e la *Zoological Society* di Londra hanno creato nel 1998 l’indice del pianeta vivente (*Living Planet Index*): esso si basa su dei trend demografici di popolazione come misura dei cambiamenti nella biodiversità e assegna tutte le popolazioni delle specie sia d’acqua dolce sia terrestri a cinque specifiche regioni biogeografiche: neartica, paleartica, neotropica, afrotropicale e indo-pacifica. Le prime due decadi dopo il 1998 avevano registrato l’abbondanza di migliaia di popolazioni di mammiferi, uccelli, rettili, anfibi e pesci in tutto il mondo (WWF). Nell’indice aggiornato del 2018 vengono riportati i dati dal 1970 al 2014 e ciò che emerge è un declino del 60% nelle dimensioni delle popolazioni di vertebrati analizzate, dunque in media un

crollo di oltre il 50% della biodiversità in meno di cinquanta anni. Il declino più consistente si registra nella regione neotropicale (dall'America centrale e meridionale ai Caraibi) con una perdita del 89% nell'abbondanza della popolazione rispetto al 1970.

Nel 1992 a Rio de Janeiro è stata istituita una Convenzione sulla diversità biologica nella quale i paesi contraenti si impegnavano a difendere il più possibile la biodiversità in tutto il mondo e a limitare gli impatti delle attività antropiche sul territorio e sulle specie viventi. Lo scopo di tale Convenzione era quello di ridurre significativamente entro il 2010 il tasso di perdita di biodiversità a livello mondiale (Bologna, 2013). La stessa convenzione si è occupata inoltre di cambiamenti climatici per cui successivamente, attraverso il protocollo di Kyoto, i paesi firmatari si sono impegnati a ridurre le loro emissioni di CO₂ del 5% entro il 2012. La decima conferenza delle parti della Convenzione, tenutasi nell'autunno del 2010 in Giappone, a Nagoya, ha approvato un piano e degli appositi target (Aichi-Nagoya target) da realizzare entro il 2020. Essi sono venti, suddivisi in base a diversi obiettivi strategici e tra questi emergono la riduzione di perdita di habitat naturale, incluso quello delle foreste, la gestione sostenibile dell'agricoltura e dell'acquacoltura e la riduzione dell'inquinamento ambientale ed industriale.

Questi e molti altri sforzi conservativi a livello legislativo fanno comprendere quanto sia immenso il valore della biodiversità per la sopravvivenza umana ed il funzionamento ecosistemico.

Nel 1988 l'ecologista britannico Norman Myers introdusse il concetto di *hotspot* per definire dieci tipi di foreste tropicali caratterizzate da un elevato numero di specie endemiche e da un alto tasso di perdita di *habitat*. Nel 1996 l'organizzazione *Conservation International* allargò la ricerca anche ad altre zone del mondo e il numero di hotspot di biodiversità crebbe a venticinque. Ad oggi il numero di queste aree del pianeta è esteso a trentasei e due sono i criteri affinché una regione venga definita hotspot di biodiversità: la presenza di almeno 1500 specie endemiche, ossia che non possano essere trovate da nessun'altra parte nel mondo e la perdita di almeno 70% della vegetazione nativa. Tuttavia in alcune zone questi due criteri

sono ampiamente superati: le foreste del sud est asiatico e quella tropicale delle Ande nel sud America contengono infatti 15.000 tipi di piante endemiche e in alcuni *hotspot* la perdita di vegetazione ha raggiunto il 95%.

L'individuazione di queste zone implica la necessità di un grande sforzo conservativo, poiché il rischio è quello dell'estinzione di migliaia di specie viventi che ora sono densamente concentrate in aree molto ristrette del pianeta.

L'entomologo Edward O. Wilson, considerato uno dei primi teorici del concetto di biodiversità ricorda all'interno dei suoi volumi che l'insieme dei fattori che provocano i processi di estinzioni delle forme di vita sul nostro pianeta sono indicati dai biologi della conservazione sotto l'acronimo HIPPO: H sta per *habitat destruction* cioè la distruzione diretta degli ambienti naturali, I per *invasive species* ossia le specie invasive (non autoctone) che l'uomo immette in ambienti che non sono i loro originari, P per *pollution* cioè le varie forme di inquinamento provocate dall'uomo (scarti solidi, liquidi e gassosi), P per *population* ossia l'aumento esponenziale di popolazione mondiale e O sta per *overharvesting* cioè il sovra sfruttamento di risorse, ambienti ed esseri viventi. Secondo il biologo, il motore primario delle forze d'incursione in tutto il mondo è la seconda P, ossia l'elevato numero di popolazione che consuma una quantità eccessiva di terra, mare e le relative risorse; le altre lettere invece sono collocate all'interno della parola HIPPO proprio in ordine di importanza decrescente, con la perdita di habitat al primo posto e il sovra sfruttamento all'ultimo (Bologna, 2013).

Analizzerò ora nel dettaglio questi cinque fattori di perdita di biodiversità.

“Mentre spinge le altre specie verso l'estinzione, il genere umano è occupato a tagliare il ramo su cui è seduto” (Paul Ehrlich).

Questa citazione evoca in maniera metaforica un grande problema globale: la perdita di habitat, che oggi interessa in particolar modo il bioma della foresta pluviale tropicale. La biodiversità in queste foreste è sbalorditiva: grazie alle alte temperature (comprese tra i venti e i trentacinque gradi tutto l'anno), all'umidità e

alle frequenti precipitazioni che arrivano fino a duecento centimetri ogni anno, esse ospitano fino al 80% delle specie mondiali documentate (WWF). In un'area di 8.000 m² di foresta pluviale tropicale sono presenti oltre 750 varietà di alberi (Oppenlander, 2012; Andersen et al., 2016). A confronto, nell'immensa foresta boreale del Canada, che copre oltre 404,7 milioni di ettari ci sono pressappoco venti specie di alberi (Kolbert, 2014; Andersen et al., 2016). Le foreste tropicali, che coprono appena il 7% della superficie del pianeta, sono oggi tra gli ambienti più minacciati dall'avanzata dell'uomo moderno: secondo l'ultimo rapporto sullo stato delle foreste curato dalla FAO, il *Forest resource assessment*, ogni anno si perdono tredici milioni di ettari di foreste naturali. In un decennio abbiamo perso un'estensione di foreste pari a 940 mila km²: una foresta grande come l'intero Egitto (WWF). Alla luce del *report* IPBES 2019 (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) invece, tra il 2010 e il 2015 sono stati persi trentadue milioni di ettari di foresta tropicale con forte presenza di biodiversità. In Madagascar è stato eliminato il 90% della superficie di foresta, in Ecuador occidentale il 95% della foresta pluviale è stato disboscato dal 1960 ad oggi (Smith et al., 2013). Stando agli ultimi avvenimenti su scala globale, è doveroso evidenziare le enormi perdite di biodiversità vegetale ed animale verificatesi in Australia a seguito di numerosi incendi che hanno distrutto circa otto milioni di ettari di vegetazione e causato la morte di quasi un miliardo di animali, tra cui koala (rimasti senza gran parte del loro *habitat*), canguri e molti altri mammiferi. Queste perdite importanti di habitat si riflettono sugli organismi viventi che lo abitano tanto che sempre più specie sono a rischio di estinzione. Secondo il biologo e paleontologo statunitense Niles Eldredge stiamo assistendo alla più grande estinzione delle specie degli ultimi 65 milioni di anni; dopo le cinque grandi estinzioni di massa verificatesi nella storia del pianeta Terra, tutte avvenute a causa di eventi fisici (climatici o geologici), quella che sta avvenendo ogni giorno sotto i nostri occhi è la prima estinzione di massa a causa biologica: l'animale *Homo Sapiens*.

“La capacità distruttiva della nostra specie è documentata dal fatto che, dall’entrata in scena dei sapiens, il tasso di estinzione è stimato essere circa 100 volte superiore a quello naturale [...]Tra i vertebrati sono a rischio di estinzione il 32% di tutte le specie di anfibi, il 12% dei rettili, il 23% degli uccelli e il 23% dei mammiferi” (Barbiero, 2017).

Secondo il paleontologo Eldredge la sesta estinzione è suddivisibile in due fasi storiche: la prima fase iniziò 100.000 anni fa quando l’uomo emigrò dall’Africa per iniziare a disperdersi in tutto il resto del mondo; la seconda fase ebbe inizio 10.000 anni fa quando l’uomo moderno iniziò a praticare l’agricoltura. Infatti, per la prima volta, non era più necessaria l’interazione diretta con le altre specie per la sopravvivenza: l’uomo poté utilizzare altri organismi viventi per i propri usi ed iniziò a sovrappopolare i diversi ecosistemi.

“La specie umana, da sola, si appropria del 36% della produzione primaria netta (PPN) degli organismi fotosintetizzatori” (Barbiero, 2017).

Le cause di questa deforestazione sono diverse: oltre all’abbattimento di alberi per ricavare fibra legnosa (e i suoi sottoprodotti, come la carta) e per produrre sviluppo urbano, riveste un ruolo decisivo il disboscamento per la produzione di terreni agricoli, spesso monoculture come la soia, destinati spesso specificatamente alla produzione di foraggio per gli animali da allevamento. Solo negli Stati Uniti infatti, il 70-80% di cereali e legumi prodotti sono destinati all’alimentazione degli animali che ne consumano ogni giorno enormi quantità. A livello mondiale, questa percentuale è del 50% (Andersen et al., 2016); la terra usata nel mondo per l’agricoltura è aumentata di quasi cinquecento milioni di ettari (dieci volte la dimensione della Francia) negli ultimi quarant’anni (Lymbery, 2015; Pachauri, 2008). Secondo quanto riporta il giornale ambientale Mongabay sulla base dei dati IPBES l’allevamento e l’agricoltura su larga scala si sono fatti strada attraverso le foreste dell’Amazzonia e del Sud-Est asiatico, provocando la perdita di un milione di chilometri quadrati di foresta tropicale a partire dal 1980.

Oltre ad una riduzione significativa, gli *habitat* possono subire una frammentazione legata all’interruzione di *habitat* (un tempo continui) e alla creazione di una serie di

patch in mezzo ad un paesaggio dominato dall'uomo. Gli individui della stessa popolazione vengono divisi e spesso tra loro i contatti sono interrotti: il primo rischio, direttamente legato alla riduzione di *habitat* è la progressiva estinzione della specie, inoltre, a seguito dell'isolamento, individui appartenenti a *patches* diversi interrompono il flusso genico tra di loro con conseguente perdita di variabilità genetica. Ecco allora che anche la frammentazione di *habitat* può rivelarsi fatale per la biodiversità e quindi anche per il funzionamento ecosistemico.

Nel prossimo paragrafo affronterò nel dettaglio quali sono le dirette conseguenze (sull'ambiente, i viventi e l'uomo) della perdita e del degrado di *habitat* naturale.

La seconda lettera della parola HIPPO sta ad indicare una pericolosa minaccia alla sopravvivenza di alcune specie: l'introduzione da parte dell'uomo di specie invasive (non autoctone) all'interno di un ambiente che non è il loro originario. Questo fenomeno è di particolare gravità poiché, inserendo una specie straniera all'interno di un ecosistema, questa andrà ad alterare e scombinare le relazioni già presenti tra gli organismi autoctoni mediante meccanismi quali la predazione, l'erborivoria e l'alterazione di *habitat*; una possibile conseguenza è che i nuovi arrivati possano entrare in competizione con questi ultimi fino addirittura a portarli all'estinzione. Le specie che risultano particolarmente colpite sono quelle insulari: nelle Hawaii ad esempio negli ultimi duecento anni si sono estinte 263 specie indigene; un esempio è dato dal serpente arboreo bruno (*Boiga irregularis*) originario della Nuova Guinea che è stato portato sull'isola probabilmente attraverso un'imbarcazione intorno al 1950 e che ha causato l'estinzione di diciassette specie tra uccelli, lucertole e pipistrelli (Smith et al., 2013).

Un altro caso eclatante di introduzione di specie invasiva è quello dello scoiattolo grigio nordamericano. Lo *Sciurus carolinensis*, originario dell'area nearctica e introdotto in Europa (prima in Inghilterra, nel XIX secolo, quindi in Italia all'inizio del XX secolo), è presente oggi nell'area piemontese-lombarda, in quella ligure, nell'Appennino umbro e nel Veneto. È una specie invasiva e fortemente

competitrice verso l'autoctono scoiattolo comune *Sciurus vulgaris Linnaeus* (Martinoli et al., 2010).

La continua espansione dello scoiattolo grigio sta causando l'esclusione competitiva dello scoiattolo comune. Il meccanismo attraverso cui questo avviene è dovuto alla migliore efficienza da parte dello scoiattolo grigio nello sfruttare le risorse alimentari, in particolar modo grazie alla capacità di assimilare i tannini presenti nelle ghiande (Kenward e Holm, 1993). Inoltre, lo scoiattolo grigio sottrae e consuma molti semi immagazzinati dallo scoiattolo comune, utili per superare l'inverno e consentire la riproduzione nell'anno successivo (Wauters et al., 2002). La presenza contemporanea delle due specie di scoiattoli causa una riduzione della disponibilità di cibo; in queste condizioni le risorse trofiche diventano limitanti e si avvia una competizione interspecifica per le risorse alimentari. Di questa competizione si avvantaggia lo scoiattolo grigio che con le sue maggiori dimensioni corporee (500-600 grammi contro i 230-380 del rosso), l'abitudine a muoversi prevalentemente al suolo, dove è più facile reperire i semi, e la possibilità di consumare ghiande in abbondanza, riesce ad accumulare maggiori risorse energetiche per superare l'inverno, incrementando il suo peso corporeo anche del 20% (Kenward e Tonkin, 1986). Inoltre un maggiore peso in autunno non aiuta solamente a passare l'inverno ma aumenta anche il successo riproduttivo della specie (Gurnell, 1996). Questo esempio, come molti altri che potrebbero essere proposti vuole dimostrare come l'introduzione da parte dell'uomo di specie non autoctone si rivela molto pericolosa per gli organismi viventi nativi (animali ma anche vegetali) ecco perché questo fenomeno è annoverato tra le cinque principali cause di perdita di biodiversità.

La terza grande causa citata da Wilson è l'inquinamento ambientale prevalentemente causato dalle attività antropiche che hanno prodotto una serie di cambiamenti a cascata su scala globale. Quando si parla di inquinamento, si pensa immediatamente ad enormi ciminiere che emettono fumi grigi nell'aria, tuttavia questo concetto è molto più complesso e non è unicamente riferibile all'atmosfera:

esso consiste in un bioaccumulo di inquinanti in ecosistemi terrestri e acquatici oltre che nell'aria.

Gli esseri viventi sono in grado di assimilare selettivamente le sostanze presenti nell'aria, nell'acqua o nel suolo e le concentrazioni di queste sostanze aumentano, accumulandosi a mano a mano che si sale con la catena alimentare. Questo fisiologico processo vitale però, si rivela fatale nel caso in cui siano presenti in ecosistema sostanze inquinanti: queste infatti vengono assorbite dagli anelli trofici più bassi fino ad aumentare la loro concentrazione via via che si sale di livello: gli organismi che si trovano ai vertici della catena possono così contenerne quantità anche molto considerevoli (Curtis et al., 2013). Un esempio eclatante di questo accumulo di inquinanti è dato dal DDT, un pesticida utilizzato in agricoltura a partire dalla prima metà del 1900 e ritenuto ad oggi una sostanza ad altissima tossicità tanto che che molti paesi ne hanno vietato l'utilizzo.

Per parlare ancora di *pollution*, occorre fare un passo indietro e tornare a quanto detto in precedenza sui cicli biogeochimici, in particolare quelli del carbonio e dell'azoto. Questo perché l'alterazione di questi due cicli naturali nel corso dei secoli ha portato a due forme di inquinamento globale mai esistite prima della comparsa dell'uomo e del suo sviluppo agro-industriale: l'aumento di anidride carbonica atmosferica e dei livelli di azoto nel suolo.

Il ciclo del carbonio mantiene in perfetto equilibrio le concentrazioni di anidride carbonica e ossigeno in atmosfera poiché le emissioni di CO₂ vengono controbilanciate dall'azione fotosintetica dei produttori primari i quali sono i più grandi immagazzinatori di questo gas. L'anidride carbonica, insieme a metano, protossido d'azoto, vapore acqueo e altri gas atmosferici sono responsabili dell'effetto serra, un processo che mantiene stabile la temperatura sulla superficie terrestre e che quindi ha permesso lo sviluppo della vita sulla Terra. La funzione di questi gas è quella di assorbire le radiazioni solari (UVA e UVB) ed inviarle sulla superficie terrestre e su quelle marine che, a loro volta le immagazzinano e le riflettono sotto forma di calore. I gas serra impediscono la fuoriuscita immediata di tale calore come avviene, appunto, in una serra e garantiscono una temperatura

media sulla superficie terrestre di 15°. Tuttavia, visto l'enorme potere riscaldante dei gas a effetto serra, in particolare quello del biossido di carbonio, un loro aumento in atmosfera determina necessariamente un aumento di temperatura sulla superficie terrestre e, a lungo andare, un cambiamento climatico. Oggi, per effetto di numerose attività antropiche, la concentrazione di questo gas serra è aumentata, e il ciclo del carbonio sta subendo un'alterazione tanto che i serbatoi naturali, le foreste, non sono in grado di compensare questi aumenti.

La quantità di anidride carbonica presente in atmosfera è aumentata di più del 30% negli ultimi cento anni; secondo i dati del CDIAC (*Carbon Dioxide Information Analysis Center*) fino al 1750 i valori di CO₂ nella troposfera si attestavano intorno alle 280 ppm (parti per milione) mentre dopo la rivoluzione industriale questi sono cresciuti in maniera esponenziale fino a raggiungere, nel 2016, la concentrazione di 399,5 ppm. I maggiori paesi emettitori sono (dati del 2011): Cina per il 29%, Stati Uniti per il 16%, Unione Europea per l'11%, India 6%, Federazione Russa 5% e Giappone 4% (Bologna, 2013).

L'aumento così forte dei livelli di anidride carbonica in atmosfera è stato provocato principalmente dall'ingresso all'interno del ciclo del carbonio dei combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturale) e della loro ossidazione; si tratta di idrocarburi che sono il risultato del seppellimento di materiale organico (CO₂ organicata) avvenuto centinaia di milioni di anni fa. Essi vengono impiegati per la produzione di energia utilizzata per il riscaldamento domestico, in ambito industriale o come carburante per le automobili e vengono definiti fonti di energia non rinnovabile in quanto, dopo la loro combustione, occorrerebbero altri milioni di anni per essere prodotti in maniera naturale.

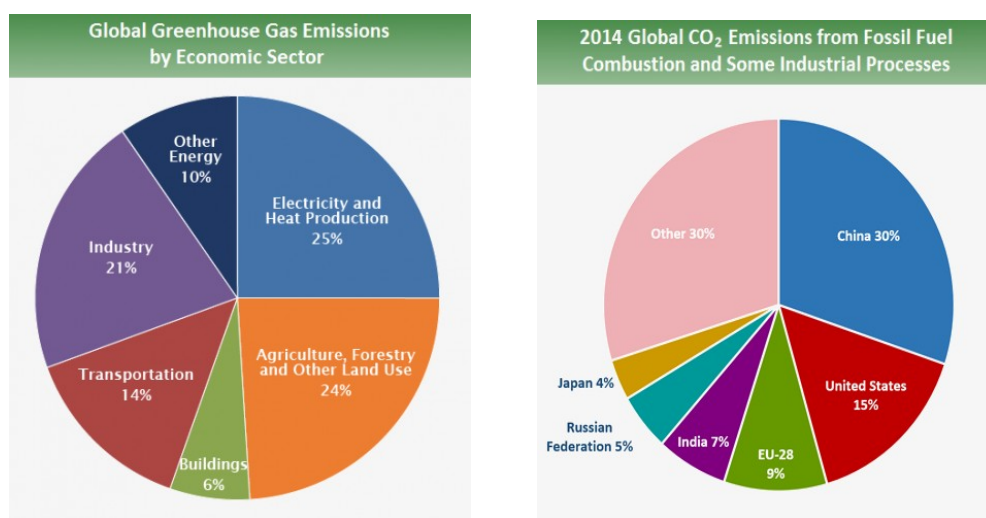
L'alterazione del ciclo del carbonio consiste dunque in un aumento delle concentrazioni di CO₂ che non riescono più ad essere controbilanciate dal processo di fotosintesi dei produttori primari, in particolare dalle foreste globali, i quali sono gli unici ad adempiere in maniera così consistente a questo compito. Una parte di anidride carbonica viene assorbita anche dagli oceani; il tasso di diffusione dall'atmosfera alle acque superficiali è funzione del gradiente di concentrazione

vale a dire che un aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera corrisponde ad un aumento della sua diffusione in acqua. Potenzialmente gli oceani avrebbero la capacità e il volume per assorbire una quantità enorme di questo gas, tuttavia, questa possibilità non si realizza in quanto gli oceani non assorbono CO₂ in maniera omogenea in tutto il loro volume. Solamente lo strato superficiale infatti (entro i 200 metri di profondità), prevede un rimescolamento delle acque ad opera dei venti e quindi dei gas disciolti in esse; dai 200 ai 2000 metri di profondità, invece, nelle cosiddette acque profonde, l'anidride carbonica non viene assorbita (Smith et al., 2013). Ecco quindi che la capacità di assorbimento di questo gas sul globo è notevolmente limitata. A ciò bisogna aggiungere quanto è stato detto prima sulla progressiva perdita di habitat: il ruolo della deforestazione oggi più che mai è decisivo nel determinare l'aumento di CO₂ nell'aria: abbattendo infatti le foreste mondiali, i nostri principali serbatoi di ossigeno, nonché i maggiori assimilatori di anidride carbonica del globo, stiamo riducendo giorno dopo giorno la capacità di smaltire questo gas.

“Secondo l'ultimo rapporto sullo stato delle foreste curato dalla FAO, il “Forest resource assessment”, ogni anno vengono distrutti 13 milioni di ettari di foreste naturali.

Le minacce principali alle foreste sono la loro conversione in terreni agricoli e destinati all'allevamento zootecnico, il taglio e il commercio illegale di prodotti forestali, gli incendi, l'avanzamento dell'urbanizzazione, in poche parole una insostenibile gestione di questo patrimonio unico”(WWF).

Il risultato è un aumento dei gas serra che, stratificandosi a livello atmosferico, vanno ad incrementare lo strato di isolamento termico della superficie terrestre facendo innalzare le temperature medie globali.



Come mostrato nei grafici, entrambi riferiti al 2014 dalla fonte IPCC, la provenienza di questi gas deriva in larga parte (25%) dal settore elettrico e di produzione di calore, per il 24% dal settore agricolo e dalla deforestazione, e per il 21% dal settore industriale. Grande importanza rivestono anche le emissioni legate ai trasporti mondiali (automobili, ferroviari, navali e aerei) di individui o merci. Nel secondo diagramma è possibile notare come la Cina sia il paese con maggiori emissioni di gas serra coprendo da sola il 30% del totale mondiale, seguita dagli Stati Uniti (15%).

Come detto in precedenza l'anidride carbonica non è l'unico gas serra presente in atmosfera: sono presenti in diversa concentrazione anche metano, protossido di azoto, vapore acqueo e alocarburi. A ciascuno di questi gas è stato attribuito un potenziale di riscaldamento globale (GWP) al fine di facilitare il confronto tra i

diversi impatti che questi gas hanno sul riscaldamento globale. Questo valore misura la quantità di energia che una tonnellata di gas è in grado di assorbire in un'unità di tempo (generalmente 100 anni) confrontandola con l'emissione di una tonnellata di anidride carbonica. Il GWP dell'anidride carbonica è 1 e questo gas rimane in atmosfera per molto tempo; quello del metano è intorno a 30 GWP e quello del protossido di azoto è intorno a 300, un potere riscaldante novanta volte superiore all'anidride carbonica. Tuttavia, nonostante il basso GWP della CO₂, tale gas è presente in sempre maggiori quantità rispetto agli altri (400ppm) e questo fa sì che ad oggi esso sia considerato il gas responsabile dell'innalzamento della temperatura terrestre.

I cambiamenti climatici pertanto sono una diretta conseguenza dell'aumento di gas serra nell'atmosfera (ad opera delle attività antropiche citate nei grafici) ed implicano una serie di fenomeni ecosistemici su scala globale di cui parlerò approfonditamente nel prossimo paragrafo.

L'ingresso così repentino nel ciclo del carbonio di ingenti quantità di CO₂ dai combustibili fossili è abbinato anche ad un aumento di altri gas in atmosfera altamente inquinanti, anidride solforica e nitrica, che sono il prodotto della combustione degli idrocarburi. Queste sostanze si accumulano in atmosfera dove, unendosi al vapore acqueo diventano acido solforico e acido nitrico, riuscendo a penetrare nel sottosuolo e nei mari attraverso quelle che vengono chiamate "piogge acide". Le precipitazioni che contengono questi gas inquinanti costituiscono una minaccia per la flora e la fauna terrestre e ittica tanto da provocare delle morie di piante e di pesci; la presenza di anidride solforosa e nitrica nell'aria inoltre contribuisce a deturpare le facciate esterne delle abitazioni nonché le strutture architettonico-artistiche come monumenti e statue (Burns et al., 2016).

Un'ulteriore forma di *pollution* deriva oggi dalle recenti tecniche di incremento della produzione agricola che stanno alterando il ciclo dell'azoto: l'utilizzo di fertilizzanti chimici. Nei paragrafi precedenti avevo descritto il modo in cui questa molecola veniva convertita in ioni ammonio e ammoniaca e successivamente in nitriti e nitrati grazie al prezioso contributo dei batteri azotofissatori (e di quelli

denitrificatori) che sono elementi indispensabili per i produttori primari i quali, altrimenti, non riuscirebbero ad avere accesso a questo elemento. In natura, il processo di organicazione dei batteri azotofissatori viene stimato intorno agli 80 Tg all'anno e ogni atomo di azoto viene riciclato nella biosfera 571 volte prima di disperdersi in qualche pozzo geologico o essere restituito all'atmosfera dai batteri denitrificatori (Barbiero, 2017).

Agli inizi del 1900 due scienziati tedeschi, Fritz Haber e Carl Bosh, hanno per la prima volta sintetizzato l'ammoniaca a partire da un processo di areazione dell'azoto atmosferico gassoso (N_3) con l'idrogeno, in impianti che lavorano ad altissima temperatura e pressione. Questo procedimento creò per la prima volta un prodotto, il fertilizzante chimico, che poteva essere impiegato nel settore agricolo per aumentare esponenzialmente le rese senza aspettare che il terreno rigenerasse naturalmente tutti i nutrienti di cui la pianta necessita. L'azotofissazione sintetica via Haber-Bosh permette l'organicazione di 187 Tg di azoto all'anno rendendo disponibile ed abbondante un elemento che prima era difficile da ottenere e prezioso da conservare (Barbiero, 2017). Oggi l'utilizzo di azoto reattivo è diffuso in maniera capillare in tutto il mondo ma non senza conseguenze: quando entra nel terreno umido l'azoto ossidato acidifica il suolo (Barbiero, 2017) e si accumula fino a riversarsi nelle falde acquifere e poi nei mari. Secondo la FAO a livello globale vengono sparsi ogni anno circa 115 milioni di tonnellate di fertilizzanti a base di azoto; il 20% di essi si accumula nel suolo e nella biomassa mentre il 35% finisce negli oceani.

Qui questo composto continua ad agire come un fertilizzante ed innesca crescita spropositate questa volta di piante ed alghe che, una volta giunte alla fase di decomposizione, consumano una quantità ingente di ossigeno creando tutt'intorno delle vere e proprie "zone morte" o anossiche (Bologna, 2013). Questo processo va sotto il nome di eutrofizzazione, cioè un aumento di sostanze nutritive che proviene dal dilavamento dei fertilizzanti utilizzati per l'agricoltura, i quali vanno ad accrescere la vegetazione marina; quest'ultima, non essendoci sufficienti consumatori primari va incontro a decomposizione innescando una fitta azione

batterica che consuma grandi quantità di ossigeno e produce CO₂ come sostanza di scarto. La riduzione della quantità di O₂ nei mari è fatale poiché rende l'ambiente circostante inospitale per alcune specie di pesci che vanno incontro a morte.

In molti paesi l'agricoltura rappresenta oggi la fonte principale dell'inquinamento dell'acqua - non le città, né l'industria - mentre a livello mondiale il contaminante chimico più comunemente rilevato nelle falde acquifere è il nitrato utilizzato in agricoltura. [...]

Dal 1960 l'uso di fertilizzanti minerali è cresciuto di dieci volte, mentre dal 1970 le vendite globali di pesticidi sono aumentate da circa un miliardo di dollari a 35 miliardi di dollari l'anno (FAO).

Risulta evidente come le moderne tecniche agricole, che si sono sviluppate per incrementare le rese e far fronte alla sempre più crescente domanda di risorse, oggi costituiscano una minaccia ed una seria causa di inquinamento per gli ecosistemi e gli esseri viventi che li abitano, oltre che per l'uomo. Adottando un modello sistemico di comprensione della realtà emerge immediatamente come le conseguenze di un'azione compiuta in un dato luogo (la fertilizzazione di un terreno) possano manifestarsi altrove con effetti ben più amplificati (morte di alcune specie di organismi marini): risulta quindi importante considerare tutte le strutture viventi come collegate in una rete interdipendente. Inoltre, l'utilizzo massivo di azoto sintetico in agricoltura, per gli effetti che ha sull'ambiente marino e sulla sua proliferazione batterica, contribuisce ad aumentare le emissioni di CO₂ in atmosfera, andando ad incrementare le già citate cause di surriscaldamento globale.

Proseguendo con i fattori che causano la perdita di biodiversità citati da Wilson c'è la *population*, ossia la sovrappopolazione che oggi caratterizza il nostro pianeta. Prima di analizzare le conseguenze ambientali di questo incremento passerò in rassegna un po' di dati.

Agli inizi del 1800 nel mondo c'erano solamente un miliardo di abitanti; nei primi anni cinquanta del novecento, la popolazione era di circa 3 miliardi di persone: il 55% (circa 1,3 miliardi) abitava in Asia, il 22% in Europa, il 13% nelle Americhe e solo il 9% in Africa. Oggi le proporzioni fra i continenti sono cambiate

significativamente: l'Asia conta il 60% degli abitanti del pianeta (quasi 4 miliardi e mezzo di individui), l'Europa si è dimezzata al 10%, le Americhe sono rimaste stabili mentre la popolazione africana è quasi raddoppiata raggiungendo il 16% (Bozzini, 2017). Secondo Worldometers, la popolazione mondiale attuale è di 7.715.274.480: solo in Cina oggi si trova il 18% della popolazione mondiale, in India il 17.74% e negli Stati Uniti il 4.27% mentre in Italia solo lo 0.77%. Il tasso di crescita a livello mondiale nel 2019 è stimato intorno al 1,07% con circa un aumento all'anno di 82 milioni di persone. Questo dato è in calo se si pensa che nel 1960 il valore era del 2% annuo; infatti le stime parlano chiaro, il tasso di crescita della popolazione mondiale scenderà al 1% nel 2023 e allo 0.25% nel 2076.

La popolazione mondiale dunque, secondo le stime, continuerà sempre a crescere ma più lentamente rispetto al passato: in 40 anni infatti (1959-1999) la popolazione era raddoppiata passando da 3 miliardi a 6 miliardi; oggi si pensa che si raggiungeranno i 9 miliardi di persone nel 1937 e gli 11 miliardi nel 2088.

Esiste un paradigma, utilizzato dagli studiosi per descrivere la crescita della popolazione mondiale dall'era pre-moderna alla nostra società post-industriale, che prende il nome di teoria della transizione demografica. Secondo questo paradigma, la crescita della popolazione segue un andamento legato allo sviluppo economico e prevede quattro fasi.

La prima fase è quella che caratterizza le società pre-industriali in cui i tassi di natalità e di mortalità sono entrambi molto alti (dovuti a condizioni di vita precarie, come malnutrizione e malattie) ma sono in equilibrio tra loro e la popolazione rimane costante, ossia non subisce un incremento. Nella seconda fase, migliora il benessere e l'aspettativa di vita degli individui per effetto di una crescita economica: i tassi di natalità si mantengono alti ma diminuiscono quelli di mortalità (soprattutto infantile), perciò la popolazione aumenta in maniera sostenuta. La terza fase è quella in cui i livelli di mortalità e natalità ritrovano un equilibrio poiché i primi sono ancora bassi ma i secondi subiscono un calo per effetto di diversi fattori quali la pianificazione familiare, l'utilizzo di metodi contraccettivi e l'aumento dei livelli di istruzione. Nell'ultima fase, il tasso di natalità scende così tanto che in

alcuni casi non si raggiunge il livello di ricambio di 2,1 figli per donna indispensabile per mantenere stabile la popolazione (è il caso dell'Italia con una media di 1,47 figli per donna) (Bozzini, 2017; Notestein, 1983).

Ritornando alla causa di perdita di biodiversità descritta da Wilson, quali effetti negativi produce sugli ecosistemi un aumento della popolazione mondiale?

Un incremento demografico implica lo sfruttamento di più risorse per il sostentamento delle attività umane, nello specifico: più consumo di acqua e di cibo (con relativi fertilizzanti per aumentare le rese del terreno), più animali da allevare e superficie di terreni agricoli necessari per sfamarli e più superficie di terra cementificata per uso abitativo (quindi aumento della deforestazione), più consumo di energia e di combustibili fossili ed incremento della produzione industriale. In una moderna società tecnologica e fondata sull'agricoltura infatti, ogni individuo incide in maniera negativa sull'ambiente circostante e contribuisce al consumo di risorse rinnovabili e non. Ma la crescita di popolazione mondiale significa anche aumento delle emissioni di CO₂ e di altre sostanze inquinanti derivanti da tutti i fenomeni sopra citati.

Gli effetti negativi sulla biodiversità del pianeta sono immediati: l'aumento della produttività agricola ad esempio implica l'aumento della deforestazione, quindi il rischio di estinzione per molte specie come ad esempio lo scimpanzé (WWF). Anche l'aumento delle emissioni di CO₂ e il conseguente surriscaldamento ambientale mettono in pericolo numerose specie. Il nostro pianeta è pronto per fronteggiare queste richieste e stare al passo con il moderno ritmo di sviluppo e di sfruttamento?

Il *world population prospects 2019*, pubblicato da *United Nations*, mette in rilievo che la popolazione mondiale continuerà a crescere, sebbene ad un ritmo più lento, e che in alcuni paesi il numero di abitanti diminuirà sia a causa del crollo del tasso di fertilità per ogni donna, sia a causa delle numerose migrazioni che investiranno i diversi paesi. Questa tendenza evidenzia anche come ci sarà sempre più disparità tra nazioni ricche e povere nel mondo.

“Ogni giorno che passa non facciamo altro che indebolire sia la capacità dei sistemi naturali di “supportarci”, sia la loro capacità di metabolizzare gli scarti della nostra attività” (Bologna,2013).

L’impatto della specie umana sui sistemi naturali è stato riassunto in un’equazione pubblicata nel 1971 dal Paul Ehrlich, ecologo della *Stanford University* e John Holdren, allora esperto energetico alla *California University* di Berkeley. Secondo la loro equazione, l’impatto dell’attività umana (I) è il prodotto di tre fattori: la dimensione della popolazione (P), il suo tenore di vita (A, dall’inglese *affluence*) espresso in termini di reddito pro capite, e la tecnologia (T), che indica quanto impatto produce ogni dollaro che spendiamo (Bologna, 2013). Questa equazione esprime con chiarezza come per ridurre l’impatto umano sull’ambiente occorra intervenire su tutti e tre i fattori.

L’incremento della popolazione mondiale come detto prima influisce direttamente sul consumo di risorse che gli ecosistemi offrono all’uomo, la cui domanda è sempre più in crescita. Questo concetto ci porta ad analizzare l’ultima lettera della parola HIPPO, ossia la O di *overharvesting*: il sovra sfruttamento delle risorse che il nostro pianeta offre.

Una delle risorse più importanti che il nostro pianeta offre all’uomo è l’acqua, attraverso la quale egli può provvedere alle proprie funzioni vitali ma anche produrre tutto il cibo di cui ha bisogno per vivere attraverso l’agricoltura e, in maniera indiretta, l’allevamento. Il 75% del pianeta Terra è ricoperto di acqua, tuttavia, il 97,5% di questa acqua è salata (non direttamente utilizzabile dall’uomo) dunque soltanto il 2,5% di acqua è potabile per l’uomo. Di questa, il 79% non è disponibile poiché è racchiusa nelle calotte polari e nei ghiacciai; il 20% si trova nel sottosuolo e soltanto l’1% fa parte di laghi, bacini idrici e fiumi di acqua dolce utilizzabile dall’uomo. L’odierna crescita di popolazione, l’incremento dello sviluppo economico e l’agricoltura sono le ragioni principali che causano oggi le modifiche e la perdita dei corpi idrici e delle zone umide. Secondo Worldometers il 70% dell’acqua consumata nel mondo è destinata all’agricoltura, il 20% all’industria e solo il 10% all’utilizzo domestico.

Il concetto di impronta idrica (*water footprint*) esprime la quantità di acqua utilizzata per produrre ogni bene ed ogni servizio utilizzato dall'uomo, considerando tutti i cicli di produzione. Esistono tre tipi di impronte idriche: quella verde rappresenta tutta l'acqua piovana immagazzinata nel suolo e che evapora da esso o che viene utilizzata dai produttori primari per fare la fotosintesi; quella blu viene prelevata dalla superficie o dalle falde acquifere ed è utilizzata per l'irrigazione, l'industria e a scopi domestici; quella grigia serve a diluire gli agenti inquinanti ed è rilasciata durante i processi di produzione in una dimensione tale per cui la qualità delle risorse idriche mantenga una buona qualità ambientale (Bologna, 2013). Per calcolare l'impronta idrica di alcuni prodotti è possibile tenere conto contemporaneamente di tutte le impronte appena descritte; ecco alcuni esempi tratti dal *Water Footprint Network*: per una fetta di pane sono necessari 40 litri di acqua, per un bicchiere di birra 75 litri, 140 litri di acqua sono necessari per una tazza di caffè, 1.000 litri per una tazza di latte, 3.400 litri per un chilo di riso, 5.000 per un chilo di formaggio e ben 15.500 litri per un chilo di carne. In un hamburger di carne sono contenuti 2.500 litri di acqua, l'equivalente dell'acqua consumata da un individuo che si fa la doccia per due mesi (Andersen et al., 2016).

Parallelamente ad un massiccio utilizzo di acqua in alcune parti del mondo, altre aree del nostro pianeta oggi si trovano in una condizione di scarsità di acqua: sono le zone densamente popolate (come la zona della Greater London), oppure quelle in cui si fa largo uso di coltivazioni irrigate (come gli altopiani degli Stati Uniti), o entrambe (India, est della Cina e delta del Nilo); altre aree invece si trovano per natura in una condizione di bassa disponibilità di acqua, come il deserto del Sahara, del Gobi o i deserti dell'Australia Centrale.

Oggi il 71% della popolazione mondiale vive sotto la soglia di una moderata/severa scarsità di acqua almeno un mese all'anno, mentre mezzo miliardo di persone al mondo vivono una condizione severa di mancanza di acqua durante tutto l'anno (soprattutto in India, Pakistan, Egitto, Messico, Arabia Saudita, Yemen e diverse zone dell'Africa come la Libia e la Somalia) (Mekonnen et al., 2016). Secondo worldometers ogni anno tre milioni di persone muoiono a causa della scarsità di

acqua e di malattie ad essa correlate. L'emergenza acqua (e il relativo spreco da parte di alcuni paesi) costituisce dunque oggi una grave minaccia per la biodiversità degli ecosistemi mondiali, ma anche per l'uomo stesso.

Con il termine sovra sfruttamento di risorse del nostro pianeta si intende anche il commercio di parti animali (zanne, pellicce, scaglie) che vengono esportate e vendute in tutto il mondo poiché ritenute preziose ma che stanno provocando la diminuzione e in alcuni casi anche l'estinzione di alcune specie di animali.

“Circa 20.000 elefanti africani infatti vengono uccisi ogni anno (55 al giorno) a causa del commercio illegale di avorio. La popolazione di elefanti e' ridotta al 10% rispetto ad un secolo fa, mentre la Tanzania, un tempo vero e proprio paradiso degli elefanti, ne ha persi il 60% solo negli ultimi 5 anni” (WWF).

Anche il commercio illegale di specie selvatiche, stimato per un valore di quasi venti miliardi di dollari l'anno, sta minacciando l'esistenza di alcuni degli animali più preziosi al mondo, come i pangolini, uccisi per il commercio delle loro scaglie che vengono impiegate per la medicina cinese, oppure consumati nei ristoranti come poiché considerati un prelibato.

Il sovra sfruttamento inoltre si estende anche a moltissime specie marine come ad esempio il merluzzo, i tonni, ma anche le balene che, a causa della pesca e delle alterazioni climatiche, acustiche e chimiche degli oceani, sono a rischio di estinzione. L'origine antropica di questo sfruttamento trova conferma nell'ultimo IPBES report 2019 in cui si legge:

“Agricultural expansion is the most widespread form of land-use change, with over one third of the terrestrial land surface being used for cropping or animal husbandry”[...] “Human activities have had a large and widespread impact on the world's oceans. These include direct exploitation, in particular over exploitation, of fish, shellfish and other organisms, land (and sea) based pollution, including from river networks, and land/sea-use change, including coastal development for infrastructure and aquaculture”.

Analizzate le cinque principali minacce alla perdita di biodiversità, riassunte nell'effetto HIPPO, nel prossimo paragrafo passerò in rassegna le conseguenze

dell'odierno degrado ambientale la cui causa principale è da ricercarsi in una serie di mutazioni su scala globale che vanno sotto il nome di cambiamenti climatici.

1.4 Cause e conseguenze del degrado ambientale

Come visto nel paragrafo precedente, le sempre maggiori emissioni di CO₂ in atmosfera (provenienti principalmente dall'introduzione di combustibili fossili), unite all'avanzata della deforestazione e quindi alla perdita di capacità degli organismi vegetali di assorbire gran parte di questa anidride carbonica hanno innescato una serie di eventi su scala globale che hanno un denominatore comune: il cambiamento climatico.

“Qualità dell'aria e cambiamenti climatici sono due emergenze critiche con le quali l'intera umanità si sta confrontando. Da una parte l'inquinamento atmosferico rappresenta, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, il principale rischio ambientale per la salute causando più di tre milioni di decessi l'anno, uno ogni nove a livello globale (WHO, 2016). Dall'altra, il 5° Rapporto IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha chiaramente stabilito che il riscaldamento del clima della Terra è inequivocabile e che è altresì evidente l'influenza delle attività umane sul sistema climatico terrestre” (IPCC, 2014) (Facchini et al., 2017).

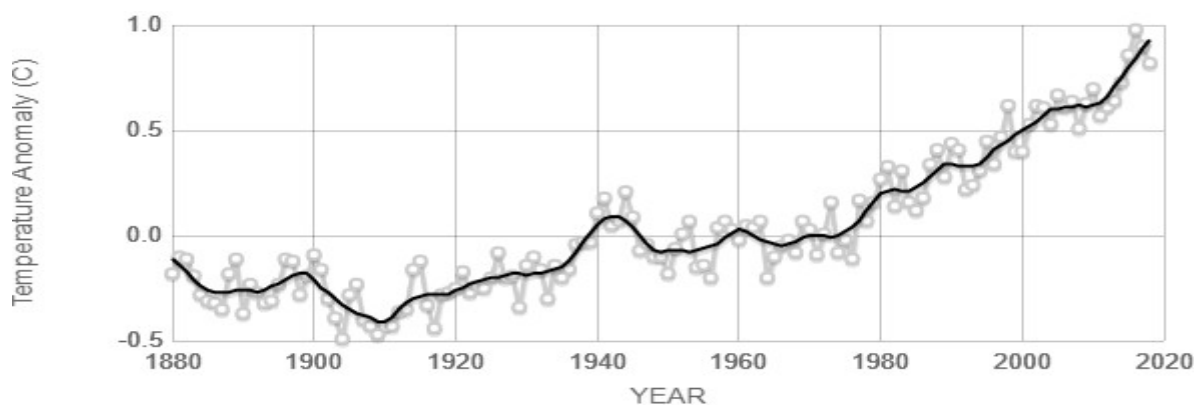
Secondo l'ultimo rapporto *“Global Warming of 1.5°C”*, elaborato nel 2018 dal gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC), è ancora possibile attenuare i peggiori effetti sull'ambiente prodotti dai cambiamenti climatici su larga scala. Per farlo è necessario limitare il riscaldamento a 1,5°C (rispetto ai livelli preindustriali della metà del 1800) anziché puntare ai 2°C e ciò è possibile riducendo le emissioni umane di anidride carbonica del 45% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2010. Visti i numerosi sforzi legislativi da parte di molte organizzazioni mondiali per limitare il più possibile l'aumento della temperatura sul nostro pianeta, risulta necessario andare ad analizzare quali sono le conseguenze sull'ambiente terrestre e marino che questo aumento provoca.

Innanzitutto occorre fare una distinzione tra il concetto di clima e quello di tempo meteorologico: con il termine clima si intende il complesso delle condizioni meteorologiche (temperatura atmosferica, venti, precipitazioni piovose e nevose)

che caratterizzano una località o una regione nel corso dell'anno, mediato su un lungo periodo di tempo. Esso è la descrizione statistica in termini dei valori medi e della variabilità delle condizioni meteorologiche in un periodo di tempo che va dai mesi alle migliaia o ai milioni di anni; secondo la definizione dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale, il periodo di media generalmente considerato è trent'anni (Treccani). Il clima di una regione si distingue dal tempo meteorologico, che è invece solo la combinazione momentanea delle condizioni meteorologiche che caratterizzano le singole giornate. A partire da questa importante distinzione, ecco quali sono le conseguenze di un aumento di temperature sul nostro pianeta.

La prima è, evidentemente, l'aumento delle temperature sulla superficie terrestre. Secondo quanto riporta la NASA infatti, la temperatura superficiale è aumentata di 0.9°C dal tardo 1800, con il massimo di aumento registrato solamente negli ultimi 35 anni, un cambiamento dovuto in larga misura ad un aumento delle emissioni di biossido di carbonio e di altri gas serra da parte delle attività antropiche. Sempre secondo la NASA, a partire dal 2010 si sono registrati i cinque anni più caldi, con il 2016 che ha raggiunto il massimo record di temperature ($+1.01^{\circ}\text{C}$), mentre il 2017 e il 2018 hanno registrato rispettivamente un aumento di $+0.92^{\circ}\text{C}$ e $+0.85^{\circ}\text{C}$ rispetto ai valori dell'epoca preindustriale.

Il grafico sottostante riporta questa variazione.

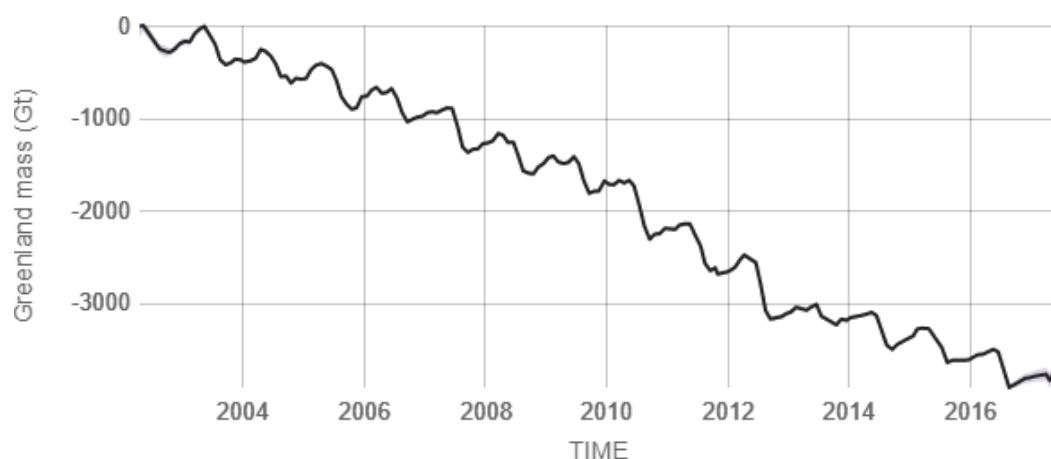


Source: climate.nasa.gov

Le conseguenze di questo aumento di temperatura superficiale sono riscontrabili anche negli oceani (considerati grandi serbatoi di acqua, calore e anidride

carbonica) sotto tre diversi aspetti: aumento della temperatura superficiale (e non), del livello e del grado di acidità. Circa l'80% del calore in eccesso accumulatosi nel sistema climatico a partire dai primi anni del 1900 è stato assorbito dagli oceani, la cui temperatura media ha subito un aumento fino a una profondità di 3.000 metri (Bologna, 2013). L'aumento di temperatura degli oceani genera una serie di effetti a cascata correlati fra loro: il cambiamento sia nella forza che nella posizione delle correnti oceaniche sottomarine; la minaccia per numerosi organismi marini come ad esempio il fitoplancton, di grande importanza poiché consente di rendere bio disponibile per ogni creatura marina l'energia solare e, attraverso la fotosintesi, contribuisce all'ossigenazione delle acque. Un altro effetto è il surriscaldamento delle terre adiacenti all'oceano, con conseguente influenza sulla temperatura, la composizione della vegetazione terrestre e l'aumento di incidenza di incendi nelle foreste; l'aumento dell'umidità e delle precipitazioni ed anche lo scioglimento delle calotte polari a contatto con il suolo e con l'oceano (Laffoley et al., 2016; Reid, 2016).

Il cambiamento climatico atmosferico ed oceanico infatti, sta portando al progressivo assottigliamento degli strati di ghiaccio che costituiscono nello specifico la Groenlandia e l'Antartide: in particolar modo, secondo la NASA, in Groenlandia si sono persi 286 milioni di tonnellate di ghiaccio all'anno tra il 1993 e il 2016 (vedi grafico sottostante), mentre in Antartide, la perdita è stata di 127 milioni di tonnellate nello stesso periodo di tempo.



Source: climate.nasa.gov

Allo scioglimento di calotte polari in diverse parti del globo, occorre aggiungere anche il progressivo ritiro di molti dei più famosi ghiacciai al mondo; essi costituiscono per l'uomo e per le specie viventi un'importante serbatoio di acqua dolce, tuttavia sono sempre più minacciati dall'aumento delle temperature atmosferiche che incrementano lo scioglimento degli strati di ghiaccio, soprattutto durante il periodo estivo. I più importanti sono i ghiacciai delle Ande, delle Alpi, il Kilimanjaro, l'Himalaya, le *Rocky Mountains* e i ghiacciai dell'Alaska. Un esempio eclatante riguarda il ghiacciaio della vetta più alta d'Europa, situata a ridosso tra Italia e Francia: il Monte Bianco. Secondo un articolo pubblicato nel 2015 sulla rivista Bloomberg dalla reporter Helene Fouquet, che in quell'anno aveva visitato la "Mer de glace", nel 1988 per toccare il ghiacciaio era necessario scendere soltanto tre gradini mentre durante la sua seconda visita, nel 2015 (ventisette anni dopo), i gradini da scendere prima di poter raggiungere la lingua di ghiaccio erano diventati 370: una prova tangibile degli effetti dell'odierno cambiamento climatico indotto in maggior misura dall'uomo. Nell'articolo si legge:

"The Mer de Glace has retreated by two kilometers from its 1850 position, when it was so big that it reached Chamonix, down in the valley. About every year in the past three decades its has lost a net three to five meters at its snout, the word used to describe the lower end of the glacier. The snout may go back another 1.2 kilometers by 2040, according to Christian Vincent, a glacier scientist at Grenoble University, and the thickness of the ice there will shrink by dozens of meters. In the worst-case scenario it could even retreat 1.4 kilometers, he says" (Helena Fouquet).

L'aumento delle temperature oceaniche comporta anche un espansione termica delle molecole d'acqua e perciò un innalzamento del livello degli oceani, incrementato anche dal progressivo scioglimento di ghiacciai e calotte polari: secondo il *National Snow & Ice Data Center* (NSIDC) se tutto il ghiaccio presente sulla terra si sciogliesse, il livello dei mari salirebbe di circa 70 metri in tutto il mondo! L'innalzamento del livello dei mari favorisce fenomeni quali l'inondazione dei litorali, l'erosione delle coste, la perdita di atolli corallini e di isole a danno di tutte

le popolazioni che vivono a pochi metri dal mare. All'interno del *summary for policymaker* del IPCC report 2018 si legge infatti:

“Increasing warming amplifies the exposure of small islands, low-lying coastal areas and deltas to the risks associated with sea level rise for many human and ecological systems, including increased saltwater intrusion, flooding and damage to infrastructure”.

Oggi una parte considerevole della popolazione umana vive in regioni costiere: tredici delle venti maggiori città del mondo si affacciano sul mare; particolarmente a rischio sono le aree deltizie e quelle che si trovano sotto il livello del mare, come i Paesi Bassi, il Suriname, la Nigeria e le piccole isole del Pacifico e di altri oceani. Nel Bangladesh, paese asiatico di circa 160 milioni di abitanti, il 25% della popolazione vive in aree situate tre metri sotto il livello del mare, mentre altri sei milioni di abitanti vivono in aree situate un metro sopra il livello medio del mare. Si è stimato che in queste regioni l'aumento del livello del mare sarà di circa 1 metro entro il 2050 e di circa due metri entro il 2100: le conseguenze per queste popolazioni potrebbero essere devastanti (Smith et al, 2013).

Un ultimo effetto dovuto alle elevate temperature atmosferiche e legato in particolar modo all'aumento di concentrazione di CO₂ nell'aria è il fenomeno dell'acidificazione degli oceani. Come visto in precedenza l'anidride carbonica diffonde dall'atmosfera agli oceani in funzione del gradiente di concentrazione: l'aumento di CO₂ nell'aria provoca perciò un aumento di assorbimento di questo gas da parte degli oceani con dirette conseguenze sugli ecosistemi acquatici e gli organismi vegetali. Quando l'anidride carbonica viene assorbita dagli oceani, viene trasformata in acido carbonico (H₂CO₃) e questo processo contribuisce ad aumentare l'acidità delle acque; dall'epoca preindustriale infatti il pH è passato da 8.2 a 8.1 (valore attuale) e le proiezioni del cambiamento climatico stimano che entro il 2100 questo valore potrebbe scendere fino a 7.8 pH. L'aumento di acidità delle acque altera la composizione chimica dell'acqua marina, in particolare provoca l'abbassamento dello stato di saturazione del carbonato di calcio, un componente essenziale per la formazione dei gusci e degli scheletri esterni degli

organismi calcificanti come molluschi, plancton, echinodermi e coralli (Doney et al, 2009). Con il tempo infatti, questi rivestimenti di carbonato di calcio vengono lesionati fino a dissolversi completamente, provocando la morte dell'animale. La progressiva acidificazione degli oceani, unita ad un aumento di temperatura delle acque mette oggi a rischio le barriere coralline, e con esse tutti gli organismi viventi che traggono un beneficio dalla loro esistenza.

1.5 Sostenibilità della dieta

La moderna industria alimentare, per rispondere alle esigenze di una popolazione mondiale in crescita fa uso di modelli di produzione che hanno un impatto considerevole sull'ambiente naturale mondiale, contribuisce in maniera significativa al cambiamento climatico. Gli aspetti che analizzerò sono tre e strettamente correlati fra loro: agricoltura, allevamento e pesca intensivi e produzione di *packaging* di plastica.

L'agricoltura, come visto precedentemente, produce inquinamento sia del suolo che delle acque oceaniche (eutrofizzazione) in quanto fa largo utilizzo di fertilizzanti a base di azoto e di pesticidi che sono letali per la biodiversità. Un esempio eclatante è dato dal sempre minor numero di specie di uccelli ed insetti: le api selvatiche sono minacciate dalle colture intensive e dall'utilizzo di sostanze chimiche tanto che in alcune parti della California per impollinare i raccolti, i coltivatori sono costretti a ricorrere al noleggio di api a pagamento, appositamente trasportate da altre zone (Lymbery et al., 2014).

Altre conseguenze della moderna agricoltura unite all'allevamento sono la deforestazione, l'impoverimento del suolo e l'avanzata della desertificazione, tutti fenomeni che aumentano i livelli di CO₂ nell'aria. Oltre il 60% della deforestazione mondiale ha luogo in Brasile e in Indonesia, rispettivamente nelle zone del Mato Grosso in Amazzonia e della provincia di Riau (Gore, 2009). Il Mato Grosso è attualmente la sede di una delle monoculture più estese del mondo: quella della soia, la cui produzione è cresciuta di vent'uno volte rispetto al 1950. Le monoculture, non utilizzano sistemi di rotazione e rendono a lungo andare il terreno improduttivo, poiché privo dei minerali necessari alla crescita delle piante. Questo legume viene coltivato per essere esportato soprattutto in Europa e Cina e diventare mangime per animali da allevamento, tanto che oggi la produzione di soia è destinata per il 70% a questo consumo. Ma intanto estese quantità di foresta stanno scomparendo (38.000 ettari al giorno (Gore, 2009)) e vasti terreni agricoli eccessivamente sfruttati saranno in futuro improduttivi e desertici.

Un altro nodo importante è quello del consumo di acqua dolce da parte di agricoltura e allevamento ossia della loro impronta idrica; per produrre cibi di origine animale viene impiegata molta più acqua, questo perché oltre al quantitativo necessario per abbeverare l'animale bisogna considerare anche la quantità che serve a far crescere l'erba o i cereali impiegati per il foraggio dell'animale stesso. Ma carne e latticini non sono gli unici alimenti che necessitano di tanta acqua. Le monoculture di avocado situate perlopiù in Messico e sud America, oltre ad essere responsabili di una deforestazione pari a circa 690 ettari all'anno, consumano enormi quantità di acqua: secondo M. Mekonnen e A. Hoekstra, dell'Università di Twente in Netherlands, la produzione di 500 g di avocado (2-3 frutti di medie dimensioni), richiederebbe circa 272 litri di acqua (a paragone, la lattuga ne utilizza solo 20); lo stesso si potrebbe dire per le monoculture di mandorle.

Agricoltura e allevamento inoltre sono responsabili di emettere importanti quantità di CO₂: la prima mediante il trasporto di prodotti agricoli, che spesso è intercontinentale, l'allevamento mondiale intensivo invece è responsabile da solo del 18% delle emissioni di gas serra, soprattutto metano (Andersen et al., 2016).

Anche la pesca ha oggi un forte impatto sugli ecosistemi acquatici, soprattutto in termini di riduzione della biodiversità. L'utilizzo di reti da traino è infatti fatale per molte specie marine (tartarughe, delfini, leoni marini, balene) le quali finiscono nelle reti insieme al resto del pesce e muoiono o restano gravemente ferite: sono quelle che la FAO chiama prede accessorie e costituiscono circa il 40% della pesca totale. Allo stesso modo, lo sviluppo degli allevamenti ittici intensivi sta spopolando gli oceani di pesci piccoli, i quali diventano cibo per quelli carnivori: ci vogliono tra le tre e le cinque tonnellate di pesci piccoli per produrre una tonnellata di salmone o trota di allevamento (Lymbery, 2014). Questi allevamenti inoltre, nei quali la densità di pesce media è di 40 kg a metro cubo si trasformano spesso in bacini di incubazione di molte malattie tra le quali il pidocchio di mare, molto contagiose anche per la fauna circostante (Lymbery, 2014).

L'ultimo aspetto della moderna industria che costituisce oggi una minaccia per gli ecosistemi naturali, soprattutto quelli marini, è la produzione di plastica. Il suo

utilizzo ormai pervasivo da parte dell'industria alimentare (e non solo) pone oggi un problema di portata globale rispetto al suo smaltimento e recupero, in quanto l'enorme quantità di rifiuti plastici accumulati negli oceani costituisce un rischio per la salute e la sopravvivenza di numerose specie marine, quindi anche dell'uomo. Nell'oceano Pacifico è presente un'isola con un'estensione di 1.6 milioni di km² (pari al doppio dell'area della Francia) costituita da 79.000 tonnellate di rifiuti plastici. Secondo uno studio pubblicato su PNAS, la quantità di plastica presente nei mari raggiunge i 580.000 pezzi per km² e sta aumentando in maniera esponenziale; questi rifiuti vengono ingeriti da numerose specie marine causandone la morte per attorcigliamento o ingerimento. La previsione è che il rischio di ingestione di plastica entro il 2050 riguarderà il 99% di tutte le specie di uccelli marini (Wilcox et al.,2015).

Oltre a ciò, l'accumulo di materiale plastico a livello ecosistemico, specialmente negli oceani, sta provocando un nuovo ed allarmante fenomeno, quello della formazione di piccoli frammenti di plastica chiamati *micro* plastiche. Queste minuscole particelle (inferiori per grandezza anche al millimetro), dopo essere ingerite dagli organismi animali marini, entrano a far parte della catena trofica, depositandosi in concentrazione via via crescente da un organismo all'altro, fino a raggiungere l'uomo. Un recente studio condotto dall'istituto di scienze marine di Genova (ISMAR) in collaborazione con Greenpeace, ha messo in evidenza la presenza di grandi quantità di micro plastiche nelle acque superficiali del mediterraneo, con i maggior livelli di concentrazione registrati nelle località di Portici, nel golfo di Napoli) e nelle isole Tremiti. Questo fenomeno che è destinato ad aumentare ha delle indubbe ricadute per l'uomo anche se, a livello di ricerca, non sono ancora chiari gli effetti della presenza di *micro* plastiche sulla salute dell'uomo.

Attraverso questa breve analisi emerge bene come la scelta dei prodotti alimentari che ciascuno di noi porta ogni giorno in tavola ha delle immediate ricadute sull'ambiente e su tutti gli organismi viventi che lo abitano. Per questo motivo è importante conoscere tutti i processi che stanno alla base della odierna produzione

alimentare (ma non solo) per compiere quotidianamente scelte consapevoli e rispettose per il nostro pianeta.

Capitolo secondo

2.1 Esigenza di un'educazione sostenibile

Nell'introduzione ho parlato di sviluppo sostenibile, facendo riferimento alla definizione della commissione Brundtland del 1987 che lo definisce come la possibilità di una generazione di soddisfare le proprie necessità, senza impedire a quelle future la capacità di soddisfare le proprie. Ecco allora che oggi la scuola è chiamata ad un compito importante: educare le future generazioni allo sviluppo sostenibile. Per spiegare il concetto di sostenibilità, alcuni autori hanno immaginato di calare una cupola sopra una città chiedendosi quanto dovrebbe diventare grande la cupola affinché la città al suo interno possa sostentarsi indefinitamente soltanto grazie agli ecosistemi terrestri, acquatici e alle risorse energetiche contenute nella cupola stessa. Per rispondere a questa domanda si scopre ben presto che tale cupola dovrebbe essere allargata a tutto il pianeta, altrimenti in poco tempo la città esaurirebbe le risorse interne per il suo sostentamento e sarebbe sommersa dai suoi stessi rifiuti. "Ma ecco che improvvisamente la cupola immaginaria, strumento che accompagna la nostra riflessione, assume concretezza e diviene elemento di realtà" (Bertolino et al., 2005). In effetti, il nostro pianeta si trova realmente in questa condizione, poiché i gas atmosferici uniti alla forza di gravità fanno sì che esso si configuri come un sistema chiuso, nel quale la quantità di risorse provenienti dall'esterno (*input*) e quelle prodotte all'interno (*output*) sono estremamente limitate.

Da qui nasce l'esigenza di un'educazione sostenibile.

Educare alla sostenibilità significa trasmettere agli alunni una visione sistemica del pianeta Terra, evidenziando le correlazioni biologiche che esistono tra differenti reti trofiche (produttori, consumatori e relativi scambi energetici) indispensabili per la sopravvivenza della Terra e dell'uomo. Gli alunni devono comprendere come ogni singolo essere vivente sia inserito in una trama complessa che acquisisce senso e valore solo se si considerano tutte le sue componenti biologiche. Occorre inoltre

renderli consapevoli di come l'agire umano con la sua condotta possa influenzare costantemente questa catena biologica, provocando conseguenze a lungo termine sulla biodiversità e di conseguenza sul funzionamento ecosistemico: l'uso di fertilizzanti a lungo andare causa eutrofizzazione degli oceani e la formazione di enormi aree marine definite "zone morte"; i pesticidi danneggiano la biodiversità; l'accumulo di plastica inquina terre e mari e gli sprechi d'acqua dolce creano importanti squilibri ambientali. Per facilitare la comprensione di questi processi è possibile introdurre gli studenti ad una teoria scientifica elaborata nel 1979 dal biofisico inglese James Lovelock. Questo approccio considera il pianeta Terra come un grande organismo vivente costituito da una biosfera, ossia dall'insieme degli organismi che lo abitano. I comportamenti di questi ultimi sono in grado di influenzare il funzionamento del pianeta stesso (la sua abitabilità) il quale mette in moto dei processi di autoregolazione per adattarsi. Gli oceani, i mari, l'atmosfera, la crosta terrestre e tutte le altre componenti geofisiche del pianeta terra si mantengono perciò in condizioni idonee alla presenza della vita proprio grazie al comportamento e all'azione degli organismi viventi, in una continua omeostasi. Educare gli studenti all'ecologia li aiuta a capire le correlazioni che esistono tra le azioni umane e i moderni cambiamenti ambientali e di biodiversità. Di fronte allo scenario reale però, l'educazione alla sostenibilità non deve mai essere allarmistica, ma costruttiva e volta a sviluppare nel bambino competenze direttamente spendibili come la conoscenza dei processi produttivi dei principali alimenti (frutta e ortaggi, legumi, cereali e prodotti animali), la sensibilizzazione verso il concetto di biologico e di cibo a chilometro zero, la predilezione di alimenti vegetali e la riduzione degli sprechi di cibo e acqua. Per migliorare la consapevolezza degli alunni sarà importante introdurli al concetto di impronta ecologica, uno strumento elaborato nel 1996 da due ricercatori canadesi presso la Columbia British University in grado di misurare e confrontare il grado di sostenibilità delle diverse popolazioni umane. Essa permette di calcolare quanto territorio viene utilizzato da una determinata popolazione per produrre le risorse utili alla sua sopravvivenza e per

riassorbire tutti i rifiuti prodotti da essa. Quest'area, espressa in ettari pro capite è la somma di sei componenti principali (Wackernagel et al., 1996):

- 1) la superficie di terra coltivata necessaria per produrre alimenti;
- 2) l'area di pascolo necessaria per allevare gli animali e ricavarne i loro prodotti;
- 3) la superficie di foresta necessaria per produrre legno e carta;
- 4) la superficie marina necessaria per produrre pesci e frutti di mare;
- 5) la superficie di terra edificata;
- 6) la superficie forestale necessaria per assorbire le emissioni di CO₂ risultanti dal consumo energetico e l'area lasciata come ecosistema intatto per la conservazione della biodiversità. La conoscenza della propria impronta ecologica serve a rendere più consapevoli gli alunni della stretta dipendenza che lega l'uomo all'ambiente naturale.

L'educazione alla sostenibilità ambientale ed alimentare trova oggi fondamento teorico nelle linee guida ministeriali per l'educazione alimentare del MIUR, elaborate in occasione di EXPO 2015 e nelle Indicazioni Nazionali per il Curricolo del 2012.

“Per diffondere la consapevolezza di una sana alimentazione legata alla valorizzazione del territorio, nel rispetto dell'ambiente, dei criteri di accesso alle risorse alimentari e all'acqua e della lotta agli sprechi, è necessario educare le giovani generazioni all'uso e al consumo consapevole di cibi sempre più sicuri, buoni e sani, provenienti da filiere legali e sostenibili per l'ambiente, la società e l'economia” (MIUR).

Nelle linee guida ministeriali per l'educazione alimentare sono presenti diversi elementi chiave; innanzitutto, per la prima volta emerge l'aspetto di sostenibilità come fattore di qualità del cibo: nel contesto globale in cui viviamo oggi, l'idea di qualità del cibo non può più limitarsi al garantire la sicurezza di chi lo consuma, la soddisfazione del suo gusto e dei propri bisogni nutritivi.

“Dal momento che ogni attività di produzione alimentare e ogni conseguente filiera implicano un coinvolgimento dell'uomo sull'ambiente e sull'organizzazione

sociale, gli effetti di questi interventi, quanto i loro costi, devono essere ricompresi nell'idea di qualità reale del prodotto” (MIUR).

La sostenibilità diventa un parametro qualitativo imprescindibile a cui gli alunni devono essere educati, poiché tiene conto dell'impatto che le produzioni agroalimentari hanno sull'ambiente naturale e sull'organizzazione sociale (aspetti etici di produzione e consumo).

Le linee guida del MIUR inoltre elencano gli obiettivi (che assumeranno la forma di competenze) su cui deve basarsi l'educazione alimentare nelle scuole; alcuni di questi si inseriscono in obiettivi più ampi di sostenibilità ambientale:

- favorire l'adozione di sani comportamenti alimentari, adottando le metodologie didattiche più opportune e considerando con particolare attenzione la conoscenza delle produzioni agroalimentari di qualità, ottenute nel rispetto dell'ambiente, della legalità e dei principi etici;
- promuovere la conoscenza del sistema agroalimentare mediante la comprensione delle relazioni esistenti tra sistemi produttivi e distributivi, in rapporto alle risorse alimentari, all'ambiente e alla società;
- promuovere la trasversalità dell'educazione alimentare negli aspetti scientifici, storici, geografici, culturali, antropologici, ecologici, sociali e psicologici legati al rapporto, personale e collettivo, con il cibo.

Questo documento sottolinea la necessità di un lavoro sinergico tra scuola, famiglia e contesti extrascolastici; l'invito è quello di lavorare per sviluppare nel bambino competenze chiave che costituiscono le basi per la costruzione di un futuro stile di vita sano e rispettoso dell'ambiente. Come si legge nel testo esse promuovono la crescita individuale e sociale, la piena realizzazione e lo sviluppo personali, la cittadinanza attiva, l'inclusione sociale e l'occupazione (MIUR).

Un altro elemento caratteristico delle linee guida è l'invito ad affiancare alla tradizionale didattica per obiettivi, quella per concetti o per progetti:

“Programmare per progetti significa privilegiare un approccio psicopedagogico di tipo costruttivista, nel quale l'accento è posto sull'impegno attivo da parte degli allievi nel costruirsi organicamente una propria conoscenza, sulla base di un

setting esperienziale che faccia emergere le potenzialità d'apprendimento. [...] Per il docente si tratta di allestire un ambiente di apprendimento favorevole alla sperimentazione di situazioni che richiedano l'esercizio di diversi stili cognitivi, l'utilizzo di differenti linguaggi, l'espressione delle personali attitudini" (MIUR).

Un ultimo aspetto caratteristico delle linee guida ministeriali è l'utilizzo di un approccio sistemico all'educazione alimentare: il focus dovrà andare, oltre che sull'aspetto fisiologico del mangiare, anche sugli aspetti psicologico sociale e culturale, cercando di coinvolgere attraverso esperienze dirette il maggior numero di discipline e contesti di vita del bambino. Le aree tematiche su cui le linee guida suggeriscono di lavorare sono cinque: il rapporto sensoriale con gli alimenti, la nutrizione e l'ambito scientifico, l'igiene e la sicurezza alimentari, l'approccio culturale al cibo e la merceologia ovvero "la conoscenza degli alimenti, andando alle radici della produzione alimentare e affrontando le fasi di trasformazione, confezionamento, etichettatura, distribuzione, conservazione e preparazione del cibo" (MIUR). Fra queste aree tematiche non è presente quella del cibo in ottica di sostenibilità ambientale e legame con la biodiversità; tuttavia, oggi risulta indispensabile educare gli alunni ad un'alimentazione sostenibile (perlopiù vegetale, biologica, a chilometro zero e che limita l'utilizzo della plastica) in riferimento agli obiettivi elaborati dall'agenda ONU per lo sviluppo sostenibile.

Il secondo documento che prenderò in analisi sono le Indicazioni nazionali per il curriculum del 2012, delle quali analizzerò soltanto la parte dedicata al primo ciclo di istruzione (scuola primaria e secondaria di primo grado) nelle sezioni di geografia e scienze, andando a ricercare le radici teoriche dell'educazione alla sostenibilità.

Alla sezione geografia si legge:

"[...] La geografia condivide la progettazione di azioni di salvaguardia e di recupero del patrimonio naturale, affinché le generazioni future possano giovare di un ambiente sano. Riciclaggio e smaltimento dei rifiuti, lotta all'inquinamento, sviluppo delle tecniche di produzione delle energie rinnovabili, tutela della biodiversità, adattamento al cambiamento climatico: sono temi di forte rilevanza

geografica, in cui è essenziale il raccordo con le discipline scientifiche e tecniche. Il punto di convergenza sfocia nell'educazione al territorio, intesa come esercizio della cittadinanza attiva, e nell'educazione all'ambiente e allo sviluppo”.

In questa parte è chiara ed esplicita l'intenzione di un'azione educativa volta alla salvaguardia dell'ambiente naturale con particolare attenzione a ciò che l'umanità lascerà alle generazioni future; si legge:

“La presenza della geografia nel curriculum contribuisce a fornire gli strumenti per formare persone autonome e critiche, che siano in grado di assumere decisioni responsabili nella gestione del territorio e nella tutela dell'ambiente, con un consapevole sguardo al futuro”.

I traguardi per lo sviluppo di competenze al termine della scuola primaria riferiti alla sostenibilità ambientale, si traducono nel saper riconoscere le trasformazioni operate dall'uomo sul paesaggio naturale e al saper cogliere i legami di interdipendenza che legano gli elementi fisici e quelli antropici. Al termine della secondaria di primo grado invece, fra gli obiettivi di apprendimento emerge il conoscere temi e problemi di tutela del paesaggio come patrimonio naturale e progettare azioni di valorizzazione.

Le indicazioni nazionali raccomandano che il primo approccio alla materia geografica deve basarsi sull'esplorazione diretta da parte degli studenti del paesaggio circostante, in abbinamento all'educazione motoria, per consolidare il rapporto tra corpo e spazio.

Nella sezione di Scienze, gli obiettivi di apprendimento al termine della classe terza più vicini al concetto di sostenibilità ambientale sono diversi: “saper osservare i momenti significativi nella vita di piante e animali attraverso la realizzazione in classe di allevamenti o di semine; saper individuare somiglianze e differenze nei percorsi di sviluppo di organismi animali e vegetali; osservare e interpretare le trasformazioni ambientali naturali e quelle ad opera dell'uomo (urbanizzazione, coltivazione, industrializzazione, ecc.)”.

Al termine della classe quinta invece, gli alunni devono saper riconoscere attraverso esperienze dirette (coltivazioni e allevamenti), che la vita di ogni organismo è in

relazione con tutte le altre forme di vita, insistendo ancora sulle conseguenze ambientali dell'azione modificatrice dell'uomo. Questi obiettivi diventano sempre più specifici alla scuola secondaria di primo grado, dove si legge:

“L'alunno è consapevole del ruolo della comunità umana sulla Terra, del carattere finito delle risorse, nonché dell'ineguaglianza dell'accesso a esse, e adotta modi di vita ecologicamente responsabili”; assume comportamenti e scelte personali ecologicamente sostenibili, rispetta e preserva la biodiversità nei sistemi ambientali”.

Per quanto riguarda l'educazione alimentare è presente qualche breve accenno sotto forma di obiettivo sia per la scuola primaria (“avere cura della propria salute anche dal punto di vista alimentare e motorio”) sia per la secondaria (“sviluppare la cura e il controllo della propria salute attraverso una corretta alimentazione”); tuttavia non è presente una esplicita correlazione tra alimentazione ed educazione ambientale, né si fa accenno alla necessità di un'educazione sostenibile. Per quanto riguarda la metodologia didattica, le indicazioni nazionali sottolineano l'importanza per le scienze, di fare uso di comunità di ricerca, laboratori, apprendimento cooperativo per abituare gli studenti ad utilizzare un metodo di indagine fondato sull'osservazione dei fatti e sulla loro interpretazione.

Gli obiettivi e i traguardi di sviluppo delle discipline che ho analizzato, non rimangono però isolati nei loro campi semantici; l'educazione alla sostenibilità alimentare ed ambientale costituisce le basi per la costruzione della cosiddetta “cittadinanza attiva” degli studenti: essa mira a promuovere valori come rispetto, collaborazione, responsabilità e solidarietà, indispensabili per i cittadini di domani coinvolti in tematiche ambientali con impatto a lungo termine (cambiamento climatico, depauperamento delle risorse, perdita di biodiversità).

L'interdisciplinarietà è indispensabile per fornire una visione sistemica di una realtà così complessa come quella dell'attuale cambiamento climatico: trattando di educazione ambientale ed alimentare con gli studenti, l'insegnante deve far emergere i punti di contatto tra le diverse discipline ma anche tra diversi aspetti dello stesso sapere. Educazione civica, geografia, scienze e storia contribuiscono a dare

punti di vista diversi sull'attuale situazione ambientale ed alimentare nel pianeta; geosfera, idrosfera, litosfera e atmosfera si intersecano in una serie di relazioni causa-effetto per dimostrare agli studenti come gli ecosistemi e la biodiversità siano in stretta relazione tra loro, e come un evento prodotto sulla terra (alterazione del ciclo del carbonio prodotto da combustibili fossili e deforestazione) si rifletterà inevitabilmente anche in atmosfera e idrosfera.

2.2 Le misconcezioni degli studenti sui temi ecologici e di sostenibilità alimentare

Come ogni disciplina, anche per l'educazione ambientale ed alimentare è necessario costruire nuovi apprendimenti a partire dalle preconoscenze degli alunni: è probabile infatti che essi dispongano già di un bagaglio di preconcetti ma anche di misconcezioni sull'argomento che potrebbero interferire con il nuovo apprendimento. “Le nuove conoscenze devono poter essere riconosciute, organizzate, collocate in schemi concettuali esistenti; nel caso più complesso in cui entrino in conflitto con questi, bisogna aiutare gli allievi ad avviare un consapevole processo di ristrutturazione di tali schemi” (Calvani, 2017).

Di seguito analizzerò diverse ricerche scientifiche presenti in letteratura che evidenziano quali sono le principali misconcezioni di studenti appartenenti a diversi gradi di istruzione (scuola secondaria inferiore e superiore, università) riguardo ai principali temi ecologici ed alimentari; tali misconcezioni a lungo andare possono portare ad una errata comprensione della realtà ambientale circostante e delle problematiche sul clima e sulla biodiversità. Mettere in luce le misconcezioni degli studenti sui principali fenomeni ambientali, permette agli insegnanti di progettare percorsi di apprendimenti ad ogni grado di istruzione per prevenirle e lavorare sui principali obiettivi della moderna educazione, nonché sfida al cambiamento climatico: sviluppare negli alunni una comprensione scientifica e oggettiva dei fenomeni della realtà, evidenziare l'impatto ambientale che il loro stile di vita (consumi, abitudini alimentari, utilizzo di energia) ha sugli ecosistemi e sulla biodiversità e fornirli degli strumenti conoscitivi adatti per contribuire attivamente al cambiamento.

Con il mio lavoro di tesi ho volutamente preso in considerazione studi condotti su alunni di classi successive alla scuola primaria: questo perché, comprendere quali sono le misconcezioni di alunni di livello scolastico superiore, è un modo per poter agire preventivamente durante la scuola primaria, evitando che piccole incomprensioni sui temi scientifici ed ecologici si trasformino in futuro in lacune importanti.

Il primo studio che ho analizzato è di Kilinc et al. (2013) *“School students’ conceptions about biodiversity loss: definitions, reasons, results and solutions”* realizzato in Turchia su studenti dalla quarta classe di scuola primaria alla seconda classe della secondaria inferiore; lo studio mirava ad indagare la concezione che gli alunni avevano di biodiversità e attraverso dei questionari a domande aperte venivano indagati i seguenti aspetti: definizione di perdita di biodiversità, le ragioni di tale perdita, i risultati e le possibili soluzioni. Attraverso questa analisi qualitativa è stato possibile anche fare emergere le principali fonti di informazione degli alunni, la maggior parte delle quali, come emerso anche in altri studi sono i nuovi media (televisione).

Choi et al. (2010) nell’articolo *“Do earth and environmental science textbooks promote middle and high school students’ conceptual development about climate change? Textbooks’ consideration of students’ misconceptions”* hanno scritto una *review* di studi condotti da vari autori tra il 1993 e il 2005 in diversi paesi del mondo (Stati Uniti, Inghilterra, Australia, Canada, Svezia, Grecia) su studenti di scuola secondaria inferiore e superiore. Lo scopo della ricerca è stato quello di mettere in luce le principali misconcezioni degli studenti su temi ambientali che riguardano il cambiamento climatico e di comprendere se e in quale misura i libri di testo utilizzati nelle scuole contribuiscono a far nascere queste false credenze.

Gowda et al. (1997) nell’articolo scientifico *“Students’ understanding of climate change: insights for scientists and educators”* espongono lo studio condotto su studenti di scuola secondaria superiore di Honolulu e Oklahoma; la metodologia utilizzata è stata quella del questionario con domande aperte per indagare il livello di conoscenza degli studenti sui principali temi ambientali che riguardano il cambiamento climatico mondiale e ricavarne infine le principali misconcezioni.

Cordero et al. (2005) in *“Climate change education and the ecological footprint”* hanno condotto una ricerca sulla conoscenza di temi ambientali ed eventuali misconcezioni di studenti universitari del San José State University (Stati Uniti). Gli studenti sono stati suddivisi in due campioni, ciascuno dei quali ha seguito per quindici settimane un corso diverso di meteorologia (uno più generico e l’altro

basato sul cambiamento climatico). Prima e dopo il corso, ogni studente ha completato un questionario che indagava le conoscenze e misconcezioni di tre aspetti ambientali: le cause del surriscaldamento globale e del buco nell'ozono, la relazione tra il surriscaldamento globale e il buco nell'ozono e il legame tra consumo di energia ed emissione di gas serra. In una seconda fase dello studio gli studenti hanno partecipato a delle attività di apprendimento specifiche finalizzate al calcolo e alla riduzione della propria impronta ecologica, da cui sono emerse altre considerazioni interessanti.

Lombardi et al. (2010) in *“College students' perceptions about the plausibility of human-induced climate change”* indagano, attraverso dei questionari strutturati proposti ad un campione di studenti universitari degli Stati Uniti, la conoscenza dei ragazzi su tre principali argomenti ambientali: la differenza percepita tra le nozioni di clima e tempo meteorologico, la concezione di tempo profondo e le loro opinioni sulle cause umane del cambiamento climatico.

L'ultimo studio sulle misconcezioni di tipo ambientali che ho preso in analisi è di Papadimitriou del 2004 *“Prospective primary teachers' understanding of climate change, greenhouse effect, and ozone layer depletion”*: in questa ricerca l'autore sottopone ad un campione di studenti futuri insegnanti del primo anno di università un questionario con domande aperte per indagare la loro conoscenza su fenomeni come il cambiamento climatico (e le relative evidenze che utilizzano per giustificarlo), l'effetto serra e l'assottigliamento dello strato di ozono.

Buzzi Lurati, nella sua tesi del 2015 intitolata *“L'alimentazione sostenibile: la problematica del chilometro zero pone le basi per la chiusura del percorso didattico sul ciclo del carbonio”*, propone ad allievi di prima liceo un questionario per indagare le loro conoscenze/misconcezioni sul tema dell'alimentazione sostenibile (focalizzandosi principalmente sulla distinzione tra prodotti a chilometro zero ed importati). Dopo un percorso didattico con la classe sul tema della sostenibilità alimentare finalizzato ad approfondire la complessa tematica del ciclo del carbonio, la studiosa propone ai ragazzi un questionario di verifica degli apprendimenti. I temi coinvolti sono il problema dell'impatto ambientale della

produzione, della lavorazione e del trasporto di un alimento, la dimensione sociale (tutela dei lavoratori, degli animali e dell'ambiente), quella economica (differenze nei costi di produzione, lavorazione e vendita) e le diverse condizioni di produzione (ad esempio serra/campo aperto, biologico/convenzionale). Lo scopo delle attività condotte sono volte a sensibilizzare gli allievi al problema della loro impronta ecologica, in particolare riguardo all'alimentazione.

Tutti gli studi analizzati, benché basati su metodologie, campioni e regioni geografiche differenti, hanno messo in luce una serie di misconcezioni che si ripetono in modo costante.

La prima riguarda la difficoltà per gli studenti di distinguere la nozione di clima con quella di tempo meteorologico: come detto in precedenza, il clima è il complesso delle condizioni meteorologiche (temperatura atmosferica, venti, precipitazioni piovose e nevose) che caratterizzano una località o una regione nel corso dell'anno, mediato su un lungo periodo di tempo (generalmente trent'anni), mentre il tempo è la combinazione momentanea delle condizioni meteorologiche che caratterizzano le singole giornate. È emerso che molti studenti, oltre a confondere questi due concetti (Choi et al., 2010) non erano consapevoli della natura a lungo termine del cambiamento climatico e questo li portava a condurre altri errori interpretativi, come aspettarsi che i segni del cambiamento climatico si manifestassero nel tempo atmosferico delle singole giornate (Gowda et al., 1997). Secondo Lombardi et al. (2010), la comprensione del significato di *tempo profondo*, inteso come tempo geologico della Terra (creazione della Terra, evoluzione biologica, storia dei cambiamenti climatici, ciclo di vita delle stelle) aiuterebbe gli studenti a capire la distinzione tra clima e tempo meteorologico, in quanto questi due concetti si basano su due livelli temporali diversi.

La seconda misconcezione è legata al tema del cambiamento climatico, verso il quale gli studenti hanno dimostrato un grande coinvolgimento. Dalle ricerche è emerso che buona parte degli studenti tendeva a gonfiare le stime dell'aumento di temperatura più di quanto facessero agli adulti e in misura ancora maggiore rispetto alle reali stime degli scienziati (1.5°C in 50 anni secondo IPCC 1992-1996) (Gowda

et al., 1997). Le fonti di informazione degli studenti sono perlopiù i nuovi media (televisione) seguiti da giornali, riviste, in misura minore il parere degli insegnanti o di personale scientifico ed infine l'esperienza personale. Gli studenti che basavano le loro fonti di conoscenza sulla propria esperienza riuscivano a percepire gli effetti del cambiamento climatico quotidianamente attraverso giornate afose, Natali senza neve, temporali frequenti o altri eventi sporadici: tuttavia, singoli eventi isolati non significano necessariamente un aumento del riscaldamento globale, che si osserva invece nel corso di più decenni; questi errori interpretativi sono ancora una volta collegati alla confusione tra le nozioni di clima e tempo atmosferico (Gowda et al., 1997; Papadimitriou., 2004).

La terza misconcezione emersa riguarda il buco nell'ozono e il suo legame con il cambiamento climatico. Per definizione, esso consiste in un assottigliamento dello strato di ozonofera e quindi nella diminuzione di questo gas, l'ozono, che è in grado di trattenere gran parte della radiazione ultravioletta proveniente dal Sole. Senza questo strato protettivo, le radiazioni solari sarebbero troppo aggressive per gli esseri viventi ed interferirebbero anche con il processo di fotosintesi clorofilliana. Tuttavia, il buco nell'ozono non ha a che vedere direttamente con il surriscaldamento globale. Una misconcezione frequente invece, è che il surriscaldamento globale sia causato da una maggiore quantità di energia solare (ultravioletta) che viene fatta entrare sulla superficie terrestre a causa del buco dell'ozono; i raggi ultravioletti vengono percepiti dagli studenti come caldi e responsabili dell'innalzamento delle temperature (Choi et al., 2010; Gowda et al., 1997). Quindi, secondo gli studenti, un buco nell'ozonofera più ampio potrebbe portare a un pianeta più caldo, sia per un maggiore ingresso di energia solare (Cordero et al., 2008), sia per una maggiore fuoriuscita di aria fredda (Choi et al., 2010); secondo Cordero et al. (2008) l'82% del campione ritiene che il buco nell'ozono provochi lo scioglimento dei ghiacciai.

Quando viene chiesto agli studenti quali sono le cause principali del surriscaldamento globale, una tendenza comune è quella di includere tanti effetti dannosi per l'ambiente, ma slegati tra di loro o comunque non direttamente

riconducibili al problema: qualche esempio è l'inquinamento delle città, le piogge acide, i rifiuti nucleari (Choi et al., 2010) l'utilizzo di clorofluorocarburi (bombolette spray), di prodotti chimici inquinanti, di aria condizionata (Choi et al., 2010; Gowda et al., 1997). Questo causa un'altra grande misconcezione comune: la credenza che la CO₂ sia uno dei gas principali responsabili del buco dell'ozono e, di conseguenza, la confusione concettuale tra effetto serra e buco dell'ozono. Cordero et al. (2008) riferiscono che buona parte del campione (83%) identifica correttamente la CO₂ come un gas serra che proviene dalla combustione del carbone e del petrolio (potenziale aggravante per l'effetto serra), ma poi la annovera, insieme all'inquinamento delle automobili, tra i gas che provocano il buco dell'ozono confondendo perciò questo concetto con quello di effetto serra. I gas serra sono spesso percepiti come sostanze inquinanti dannose che peggiorano la qualità dell'aria; altri studenti pensano che l'effetto serra, sia provocato da un sottile strato di polveri, inquinamento o gas intorno alla Terra che, come una barriera, trattiene il calore all'interno; oppure ancora che i gas serra formino uno strato sottile attorno alla Terra che attira il calore rimbalzandolo verso la superficie terrestre; una credenza comune è che il vapore acque non sia un gas serra (Choi et al., 2010). In generale emerge una confusione tra buco dell'ozono ed effetto serra: il primo è spesso riportato tra le cause del surriscaldamento globale poiché lascia entrare più calore; il secondo è percepito come un fenomeno dannoso (si dovrebbe invece sottolineare anche l'utilità di questo meccanismo) e non è chiaro agli studenti la relazione che c'è tra l'anidride carbonica, l'aumento dell'effetto serra e il surriscaldamento globale.

Cordero et al. (2008) nel loro studio hanno suddiviso gli studenti in due gruppi, uno dei quali è stato sottoposto ad una serie di attività sull'impronta ecologica che miravano a far esplorare la connessione tra il proprio utilizzo di energia e l'impatto sul riscaldamento globale. Dai test preliminari che entrambi i gruppi hanno fatto, è emerso che la maggior parte degli studenti inseriva tra i fattori che incidono sul riscaldamento globale solo l'inquinamento locale e visibile, mentre venivano del tutto ignorati l'energia impiegata per la produzione di elettricità (considerata

perlopiù come qualcosa di “pulito” per l’ambiente), di cibo, i consumi personali e il tipo di dieta. Dai test finali invece è emerso che la percentuale di risposte corrette collezionate è aumentata significativamente nel gruppo che aveva partecipato all’attività sull’impronta ecologica, dimostrando che questo tipo di percorso di apprendimento aveva migliorato la presa di coscienza del legame tra i propri consumi e il riscaldamento globale. Alcuni *items* che hanno visto un incremento di risposte positive riguardano l’utilizzo di lampadine al risparmio energetico, di automobili elettriche, il consumo di acqua dal rubinetto piuttosto che dalle bottiglie e la predilezione verso una dieta vegetariana; quest’ultimo item inizialmente aveva visto solo il 14% delle risposte corrette mentre nel test finale del gruppo sottoposto all’attività aveva poi raggiunto l’80%. Questo risultato è stato influenzato da un’attività nella quale era stato chiesto agli studenti di utilizzare il calcolatore della propria impronta ecologica riducendola del 30%: dopo vari tentativi ed errori i ragazzi avevano scoperto che il modo più semplice per farlo era agire sulla propria dieta e ridurre il più possibile il consumo di carne. Questo studio offre un esempio di come alcune misconcezioni iniziali possano essere superate o prevenute attraverso un percorso di apprendimento (come quello sull’impronta ecologica) mirato alla presa di consapevolezza dell’impatto che le proprie abitudini hanno sull’ambiente.

Lo studio di Kilinc et al. (2013) indagava le conoscenze degli studenti di scuola primaria e secondaria inferiore sul tema della biodiversità, ecco le principali considerazioni.

La definizione di biodiversità maggiormente riportata dagli alunni (63%) è quella di diversità di organismi viventi, mentre in pochi hanno citato la diversità ecosistemica e quella genetica; il riferirsi solamente alla diversità animale costituisce una misconcezione che è probabilmente legata al grande interesse degli studenti verso questo regno, ma che può essere facilmente superata creando materiali didattici che includano anche i regni di vegetali, funghi e batteri. Tra le principali cause di perdita di biodiversità, gli studenti hanno inserito al primo posto l’inquinamento ambientale riportando come esempi la crescita della popolazione, i rifiuti industriali,

l'accumulo di plastica o i troppi gas serra derivati dai combustibili fossili; al secondo posto c'è il riscaldamento globale, le cui conseguenze (aumento delle temperature e scioglimento dei ghiacciai) sono state inserite dagli studenti come cause dirette di perdita di biodiversità (molto citato l'esempio dell'orso polare). Una misconcezione emersa è che l'uomo utilizza prodotti inquinanti (deodoranti, bombolette *spray*) che aumentano il buco dell'ozono, il quale porta al riscaldamento globale e causa l'estinzione delle specie: tale concezione è in linea con quelle emerse negli studi precedenti e alla base c'è la misconcezione che il cambiamento climatico sia causato da un aumento di radiazioni che arrivano sulla Terra attraverso il buco nell'ozono. Tra le altre cause di perdita di biodiversità, gli studenti hanno inserito correttamente anche la caccia fuori controllo, l'utilizzo di prodotti chimici e di pesticidi e la deforestazione. Essi hanno citato spesso l'espressione "bilancia della vita" o "catena biologica" per spiegare il fatto che tutti gli esseri viventi sono in connessione tra loro e se un pezzo della catena si rompe tutto l'ecosistema è in pericolo. Tra le cause di perdita di biodiversità, alcuni studenti hanno inserito anche l'egoismo degli esseri umani, citando ad esempio il desiderio di indossare pellicce di animali per soddisfare i propri bisogni egoistici, non curandosi della sopravvivenza degli altri esseri viventi.

Le conseguenze di perdita di biodiversità citate dagli studenti sono diverse. La prima, molto corretta, è l'alterazione della bilancia naturale: uno studente, dimostrando di aver compreso la stretta relazione tra i viventi, riferisce che se diminuiscono i lupi aumenta il numero di cervi che mangiano erba e quindi diminuisce la flora locale; se invece si riduce il numero di cervi la flora locale aumenterà nuovamente. Come seconda conseguenza gli studenti citano le problematiche per la salute umana e la sua possibile estinzione: essi infatti riconoscono il beneficio che gli esseri umani traggono ogni giorno da piante, animali ed ecosistemi e si rendono conto che l'uomo occupa il posto più alto della catena alimentare dunque citano conseguenze come carestie e mancanza di piante per curarsi. Altre conseguenze ambientali sono la diminuzione dell'ossigeno dovuta alla deforestazione, la siccità e l'aumento della povertà.

In ultimo, gli studenti hanno fatto emergere le possibili soluzioni per ridurre la perdita di biodiversità: in primo luogo c'è la riduzione/restrizione della caccia agli animali, in secondo luogo la necessità di aumentare la consapevolezza delle persone sull'importanza della biodiversità, sia attraverso un'educazione scolastica che parta dalla scuola dell'infanzia, sia attraverso programmi educativi per adulti (televisione, seminari, campagne ecc.): gli insegnanti e gli esperti scientifici dovrebbero infatti condividere le loro conoscenze per dare vita ad un effetto domino di informazione che deve allargarsi il più possibile. Altre soluzioni proposte sono le attività per promuovere la conservazione delle specie, la riduzione dell'inquinamento ambientale e del riscaldamento globale, piantare nuovi alberi e promuovere un'industrializzazione rispettosa dell'ambiente.

Complessivamente, lo studio di Kilinc et al. (2013) ha fatto emergere tra gli studenti delle buone conoscenze sul tema della perdita di biodiversità e del ruolo importante che essa riveste per il benessere e la sopravvivenza degli esseri umani; parallelamente sono state confermate alcune misconcezioni che erano state rilevate anche negli studi precedenti e sulle quali è opportuno lavorare.

Per quanto riguarda le conoscenze/misconcezioni sui principali concetti di sostenibilità alimentare, lo studio di Buzzi Lurati (2015), condotto su allievi del primo anno di liceo, ha portato alla luce alcuni aspetti importanti. Dal questionario iniziale sottoposto agli studenti emerge che, al momento degli acquisti, il criterio di scelta principale di un prodotto è rappresentato dal suo prezzo; la maggioranza di loro è inoltre cosciente che l'utilizzo di combustibili fossili è un grave problema per l'ambiente, tuttavia in pochi comprendono che il problema consiste nel fatto che gli organismi vegetali non riescono a riassorbire tutta la CO₂ prodotta dall'uomo; c'è inoltre confusione tra i concetti di effetto serra e buco nell'ozono. La prima attività condotta dalla studiosa durante il percorso didattico prevedeva per gli studenti di dover scegliere tra diversi tipi di porri al supermercato che differenziavano per provenienza (locali-esteri) e per tipo di coltivazione (biologica-convenzionale): la maggior parte degli studenti ha scelto i porri locali, nonostante nel questionario

iniziale il criterio di scelta predominante fosse il prezzo. Dal test finale infatti emerge che due terzi degli allievi indicano come differenza principale tra prodotti a chilometro zero e prodotti esteri il diverso impatto ambientale o inquinamento dovuto ai trasporti, dimostrando di aver compreso questo aspetto. La seconda attività svolta in classe ha previsto la ricostruzione da parte degli studenti della filiera di produzione di alimenti di origine diversa (ortaggi, carne, latticini, legumi), ripercorrendone tutte le fasi di lavorazione e confrontando fra loro le filiere di prodotti vegetali con quelle di prodotti più lavorati, come pasta o carne. Successivamente sono stati affrontati i due concetti di piramide alimentare ed ambientale, evidenziando come il seguire una dieta equilibrata e salutare non giovi soltanto all'organismo ma anche all'ambiente. Dal questionario finale sono emersi dei pareri contrastanti: un terzo degli studenti indicava ancora il menù a base di carne come maggiormente sostenibile (dimostrando di non aver ben compreso l'argomento), mentre invece nella domanda in cui veniva loro chiesto se fosse importante alimentarsi in modo sostenibile, molti allievi hanno evidenziato il doppio vantaggio, per gli esseri umani e per l'ambiente.

Le ultime lezioni si sono concentrate sulla spiegazione e sulla costruzione del ciclo del carbonio (con i relativi processi di fotosintesi, respirazione cellulare e decomposizione) e una delle domande stimolo che ha permesso di dare il via a questo ragionamento è stata: "perché è un problema se la verdura che mangio è stata coltivata in serra o è stata trasportata dall'estero, magari per via aerea?" (Buzzi Lurati, 2015) Dal test finale si nota un buon grado di comprensione della tematica, con un aumento delle risposte pertinenti (preferenza di alimenti biologici, a chilometro zero, e di commercio equo e solidale per un'alimentazione sostenibile) dal 57% al 88%. Tuttavia permangono aspetti poco chiari agli studenti: molti di loro non sanno indicare dove vada a finire il carbonio assunto dai consumatori tramite l'alimentazione, mentre un terzo degli alunni non ritiene l'aumento di vegetazione un fattore limitante l'effetto serra; ancora difficile per molti risulta il collegamento tra l'aumento di CO₂ atmosferico, l'effetto serra e il riscaldamento globale. Inoltre solo due terzi degli allievi associano la problematica relativa al ciclo del carbonio

con l'eccessiva produzione di CO₂ da parte dell'uomo, e meno di un terzo indica che vi è uno squilibrio.

Gli studi fin qui proposti hanno messo in evidenza le principali misconcezioni che gli studenti hanno sui temi ambientali e di alimentazione sostenibile; esse si ripetono perlopiù sempre uguali all'interno dei diversi gruppi di studio e questo ci consente di affermare che, attraverso la progettazione di percorsi didattici mirati, è possibile destrutturarle se non addirittura prevenirle, per lasciare spazio a conoscenze scientifiche oggettive. Solo in questo modo sarà possibile rendere gli studenti coscienti della propria impronta ecologica e capaci di operare nel futuro scelte consapevoli nel rispetto degli ecosistemi naturali.

2.3 Pensare e fare valutazioni con Inquiry Based Science Education (IBSE)

L'importanza dell'investigazione e il ruolo attivo degli studenti all'interno del processo di apprendimento non è una scoperta moderna: già agli inizi del ventesimo secolo infatti, il movimento progressista di John Dewey che supportava il *learning by doing*, aveva iniziato a mettere in discussione il metodo educativo trasmissivo. Nel 1909 Dewey tenne un discorso presso l'*American Association for the Advancement of Science* (AAAS) in cui sostenne che l'insegnamento dava troppa enfasi all'accumulo di informazioni e non abbastanza alla scienza intesa come modo di pensare, come abito mentale (Scapellato, 2017). Il metodo scientifico infatti, inteso come processo di investigazione scientifica, costituisce uno strumento efficace per la vita ed anche un valido metodo per l'apprendimento; le scienze dunque sono molto di più che un insieme di conoscenze da imparare.

Nel corso degli anni cinquanta e sessanta del novecento, la guerra fredda tra Russia e America aveva inasprito i rapporti fra queste due nazioni, aumentandone la competizione su più livelli: tecnologico, militare, aerospaziale. Allo scopo di primeggiare in questo conflitto non armato, in quegli anni, gli Stati Uniti avevano dato il via ad un percorso di riforme educative per quel che riguarda le discipline scientifiche, spinti da scienziati e matematici che avevano giudicato i programmi educativi americani troppo improntati su contenuti, peraltro poco aggiornati. Ma il lancio spaziale dello Sputnik nel 1957 sancì la supremazia dell'Unione Sovietica in ambito scientifico-tecnologico, rafforzando la percezione della debolezza del sistema educativo americano (Scapellato, 2017). Da quel momento in poi, in America vennero redatti nuovi curriculum scolastici e corsi di aggiornamento per docenti in cui veniva posta grande enfasi sul *thinking like a scientist*; in questo movimento di riforma, tra le figure maggiormente legate all'*Inquiry* scientifico c'era il professore americano Joseph Schwab, il quale sosteneva che, nell'ambito dell'insegnamento delle scienze, i laboratori dovevano essere utilizzati per guidare gli studenti nello studio dei concetti scientifici e non per confermare tali concetti dopo averli già studiati. In altre parole, gli studenti avrebbero dovuto condurre le

proprie investigazioni prima della spiegazione formale dei concetti scientifici da parte dell'insegnante, perché ciò promuove un coinvolgimento intellettuale più profondo nei confronti dei contenuti e una comprensione della natura dell'investigazione maggiormente significativa (Scapellato, 2017). Il metodo proposto da Schwab prevedeva inoltre per gli studenti uno spazio dedicato alla lettura e alla discussione dei risultati di ricerca a cui erano arrivati gli scienziati nell'ambito di diversi studi, partendo dal presupposto che la discussione rappresenta una potente strategia di insegnamento basato sull'investigazione.

I lavori di Schwab, Dewey ma anche Bruner e Piaget contribuirono a dare una svolta ai curriculum scientifici scolastici dei primi anni Settanta del novecento: la costruzione di una *literacy scientifica*, per la prima volta non era finalizzata solo a padroneggiare contenuti dal valore culturale ma ad acquisire competenze e modi di pensare spendibili nella vita pratica come il saper prendere decisioni o risolvere problemi.

Nel 1996, l'*American National Research Council* (NRC) ha pubblicato i *National Science Education Standards* (NSES), un insieme di linee guida che hanno lo scopo di aiutare gli insegnanti di scienze di scuola primaria e secondaria a definire ciò che gli studenti dovrebbero conoscere o saper fare al termine di ciascun livello scolare per diventare persone dotate di *literacy scientifica*. In questo documento l'*Inquiry* scientifico è così descritto:

“Un’attività sfaccettata che implica il fare osservazioni, porre domande, esaminare libri e altre fonti di informazione per vedere ciò che è già noto; pianificare investigazioni; rivedere ciò che è già noto alla luce delle evidenze sperimentali; usare strumenti per raccogliere, analizzare e interpretare dati; proporre risposte, spiegazioni, fare previsioni e comunicare i risultati. L’Inquiry richiede l’identificazione di ipotesi, l’uso del pensiero critico e logico e il considerare spiegazioni alternative” (NRC, 1966).

In questa visione, l'*Inquiry* scientifico viene trasmesso agli alunni sia come processo da attuare per raggiungere conoscenze scientifiche (la tettonica delle placche o la teoria dell'evoluzione), sia come contenuto. Il *National Research*

Council americano ha poi analizzato diverse modalità con cui gli scienziati arrivano a produrre nuova conoscenza ed ha constatato che tutti gli approcci utilizzati hanno delle caratteristiche comuni che potrebbero costituire anche la base di un approccio didattico (Scapellato, 2017); sono state quindi identificate alcune caratteristiche chiave applicabili ad ogni livello scolastico (NRC; 2000):

1. gli studenti sono coinvolti attivamente da domande significative e investigabili dal punto di vista scientifico;
2. essi raccolgono evidenze sperimentali in modo diretto o indiretto per sviluppare e valutare possibili spiegazioni che rispondono alle domande scientifiche;
3. essi sviluppano e formulano spiegazioni a partire dalle evidenze raccolte;
4. essi valutano tali spiegazioni anche alla luce di spiegazioni alternative (attraverso un confronto tra pari e un confronto con le conoscenze scientifiche note);
5. gli studenti comunicano e argomentano le spiegazioni da loro proposte.

I punti sopracitati costituiscono le cinque caratteristiche essenziali di un approccio educativo basato sull'*Inquiry* scientifico; tale metodologia didattica, infatti, va oltre alla semplice attività laboratoriale, poiché coinvolge gli studenti nell'identificazione di evidenze scientifiche rilevanti (attraverso una raccolta dati) e nella loro interpretazione (attraverso un'analisi dei dati emersi), portandoli in maniera attiva alla costruzione delle proprie conoscenze scientifiche, come fanno gli scienziati.

Dai punti citati è possibile ricavare le cinque fasi di cui si compone l'intero ciclo di apprendimento basato sull'approccio IBSE: *Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate*.

La fase di *Engage* serve a suscitare la curiosità negli studenti, stimolarli a porsi domande investigabili dal punto di vista scientifico e creare relazioni con le loro conoscenze pregresse, allo scopo di mettere in luce eventuali misconcezioni. In questa fase l'insegnante deve introdurre l'argomento che verrà trattato nelle fasi successive attraverso attività coinvolgenti relativamente brevi (brainstorming, domande, problemi da risolvere, scenario di vita reale o attività pratica) che hanno

lo scopo di agganciare l'attenzione degli alunni sulla questione, come se si trattasse di uno spot pubblicitario (Scapellato, 2017; Chitman et al., 2013). È possibile anche utilizzare video, immagini, articoli di giornale o realizzare un esperimento scientifico capace di creare stupore e di fare emergere le conoscenze pregresse della classe sull'argomento.

Nella seconda fase, quella di *Explore*, gli studenti fanno esperienza dell'*Inquiry* scientifico mediante la progettazione e/o la realizzazione di attività sperimentali di ricerca, nelle quali si servono delle conoscenze che già possiedono per costruire nuove idee. Il processo investigativo può avere luogo mediante una raccolta dati e osservazioni su fenomeni scientifici/esperimenti, oppure sull'analisi di dati forniti dall'insegnante che stimolino gli alunni a produrre nuove conoscenze. In questa fase gli studenti sono chiamati ad utilizzare diverse abilità di processo le quali, secondo Michael J. Padilla (1990) riflettono il comportamento degli scienziati e sono ampiamente trasferibili anche in altri contesti (Scapellato, 2017). Le abilità di processo necessarie per condurre attività di investigazione scientifica sono diverse: saper osservare, fare inferenze, misurare, comunicare, classificare, fare previsioni (abilità di processo di base); controllare le variabili, sperimentare, fare ipotesi, formulare modelli (abilità di processo integrate). Affinché si tratti di un'attività di *Inquiry* scientifico, e non di un'attività sperimentale di tipo confermativo, è necessario che l'investigazione venga svolta prima della spiegazione da parte dell'insegnante; infatti gli studenti devono poter mettere in relazione le loro preconoscenze sull'argomento con le osservazioni che andranno ad effettuare.

Nella terza fase, quella di *Explain*, l'insegnante aiuta gli alunni a focalizzare la loro attenzione sugli aspetti particolari dell'esperienza di ricerca svolta: in questa fase vengono fatti emergere i concetti specifici dell'argomento di ricerca, viene introdotto da parte dell'insegnante il lessico specifico appropriato e si mettono in luce le relazioni esistenti tra i nuovi saperi e le conoscenze pregresse degli alunni. I diversi gruppi di ricerca infatti, dopo aver concluso la fase di investigazione scientifica, dovranno discutere i loro risultati davanti alla classe, argomentando le spiegazioni che hanno dato al fenomeno scientifico e confrontandosi con i risultati

emersi da altri gruppi. Successivamente, l'insegnante dovrà mettere in relazione i dati emersi dalle ricerche degli studenti con il paradigma scientifico dell'argomento in questione: nella fase di *Explain* gli studenti esprimono a parole la comprensione concettuale di quanto hanno esplorato e al contempo apprendono le informazioni di cui hanno bisogno per dare senso a queste esplorazioni. Tutto ciò rende la comprensione maggiormente profonda e l'apprendimento diventa significativo (Scapellato, 2017). Il ruolo dell'insegnante in questa fase diventa centrale: egli infatti deve trasformare quanto fatto esperire agli alunni in fase di ricerca in un concetto scientifico, utilizzando un lessico appropriato, spiegando i concetti importanti della disciplina, rispondendo alle domande degli studenti e chiarendo le eventuali misconcezioni emerse in fase di ricerca.

Gli autori Wiggins e McTighe nel 2005 hanno elaborato un tipo di progettazione didattica utile per progettare un percorso di apprendimento verso le competenze. Tale progettazione è stata denominata "a ritroso", in quanto il punto di partenza per l'insegnante è la definizione di ciò che merita di essere appreso. Il tutto è suddiviso in tre fasi: nella prima vengono identificate le conoscenze con cui gli studenti dovrebbero avere familiarità, nella seconda si scelgono i criteri di padronanza degli apprendimenti e nella terza fase si identificano le conoscenze durevoli, ossia le grandi idee, i processi essenziali trasferibili in situazioni nuove che si vuole che gli studenti conservino a lungo (Scapellato, 2017). Questo tipo di progettazione didattica si presta molto bene al tipo di apprendimento basato sul metodo IBSE: per far in modo che la fase di *Explain* (ma non solo) sia davvero efficace, infatti, l'insegnante dovrebbe partire proprio dalle conoscenze e dalle comprensioni durevoli che vorrebbe che gli studenti acquisissero; in definitiva, cosa davvero merita di essere compreso in profondità.

La penultima fase del percorso di apprendimento basato sull'investigazione scientifica è quella di *Elaborate*: a questo punto, la comprensione dell'argomento da parte degli studenti dovrebbe essere abbastanza solida e per questo motivo essi sono chiamati a trasferire le loro conoscenze applicandole in altri contesti, in situazioni nuove, possibilmente di vita reale. In questa fase le conoscenze e il linguaggio

specifico acquisiti hanno modo di essere consolidati e reinvestiti dagli alunni secondo il costrutto psicologico del “*transfer*” (Thorndike, 1923), ossia quella capacità di trasferire conoscenze e competenze da un contesto all’altro ma anche da un’attività scolastica a una non scolastica. Le attività da proporre agli alunni in questa fase possono essere le più disparate e dipendono evidentemente dal grado scolastico.

L’ultima fase della sequenza didattica è quella di *Evaluate* e si basa sulle prestazioni attese identificate in fase di progettazione. Gli studenti devono essere valutati nel loro percorso di raggiungimento degli obiettivi e di costruzione della conoscenza, ma grande importanza deve essere data anche all’autovalutazione. Dato che si tratta di un approccio di tipo costruttivista del sapere, il primo tipo di valutazione che l’insegnante deve fare è quella diagnostica: essa viene fatta in fase iniziale per valutare le conoscenze pregresse degli studenti allo scopo di evidenziarne le misconcezioni e di fissare il punto di partenza verso cui focalizzare le attività successive. Per questi motivi questa valutazione non prevede un voto. Segue poi la valutazione formativa, anch’essa priva di voto, con la quale gli studenti e l’insegnante possono farsi un’idea della direzione in cui sta andando l’apprendimento attraverso questionari, discussioni di classe, revisione tra pari o questionari di autovalutazione. Infine c’è la valutazione sommativa: essa viene fatta alla fine dell’intero percorso di apprendimento, per valutare l’acquisizione di una comprensione durevole e profonda. Seguendo quanto detto a proposito della programmazione a ritroso di Wiggins e McTighe, questa fase risulta essere quella che l’insegnante deve strutturare per prima, perché l’intero percorso deve essere costruito proprio in funzione di ciò che merita di essere appreso. Il miglior modo per valutare una comprensione profonda e durevole è quello di sottoporre gli studenti ad un compito di prestazione (o compito autentico), nel quale essi devono saper riadattare le conoscenze e le abilità acquisite.

In conclusione, l’approccio didattico IBSE basato sull’investigazione scientifica risulta essere molto efficace nell’aumentare l’interesse, la partecipazione degli alunni e la comprensione profonda di contenuti scientifici. Lo studio di Suduc et al.

del 2015 “*Inquiry Based Science Learning in Primary Education*” ha messo in luce come l’utilizzo di tale approccio didattico nelle scuole primarie sia in grado di aumentare il grado di piacevolezza e di significatività delle lezioni di scienze per gli studenti, i quali risultano essere più motivati all’apprendimento e quindi più vicini ad una comprensione profonda dei contenuti scientifici.

Sebbene nato come strumento per l’insegnamento delle scienze alla scuola secondaria, la strutturazione e l’adattabilità delle sue fasi lo rende molto adatto anche per la scuola primaria. Nel suo libro, Scapellato evidenzia infatti che esistono diverse varianti possibili del metodo dell’*Inquiry* scientifico e, di conseguenza, diversi livelli di strutturazione delle attività in relazione agli obiettivi di apprendimento che si vuole perseguire o alle abilità degli alunni. Si parte dal cosiddetto *full Inquiry*, nel quale vi è un alto grado di autonomia da parte degli studenti all’interno delle diverse attività (la domanda di ricerca emerge spontaneamente da loro) e, parallelamente, un minor livello di guida da parte dell’insegnante o dei materiali. A seconda della classe e del livello scolastico di riferimento è poi possibile modificare le diverse variabili (fornitura dei dati, delle domande di ricerca, delle connessioni concettuali ecc...) fino ad ottenere quattro diversi livelli di *Inquiry* scientifico: il primo, già citato, è l’*Inquiry* aperto (*full Inquiry*) nel quale gli studenti investigano domande formulate da loro stessi attraverso procedure che progettano e selezionano; il secondo è l’*Inquiry* guidato nel quale gli studenti investigano una domanda presentata dall’insegnante usando procedure progettate da loro stessi; il terzo livello è l’*Inquiry* strutturato in cui gli studenti investigano una domanda proposta dall’insegnante attraverso procedure assegnate; l’ultimo è l’*Inquiry* confermativo, nel quale gli studenti confermano un principio attraverso un’attività in cui i risultati sono già noti in anticipo (Scapellato, 2017). Per la duttilità delle sue fasi, tale approccio didattico risulta quindi molto valido e facilmente utilizzabile anche con alunni di scuola primaria.

Nell’ottica di promuovere un’educazione alimentare e alla sostenibilità ecologica significativa per gli studenti futuri cittadini di domani, l’approccio didattico basato sull’investigazione si configura come uno strumento molto utile per gli studenti,

poiché li conduce in maniera attiva, come dei piccoli scienziati, verso la costruzione di un sapere autentico e fortemente legato al loro contesto di vita.

Capitolo terzo

*“Noi non abbiamo ereditato il mondo dai nostri padri,
ma lo abbiamo avuto in prestito dai nostri figli e a loro
dobbiamo restituirlo migliore di come lo abbiamo trovato.”*

Robert Baden-Powell

3.1 Proposte didattiche di educazione alimentare ed ecologica

In questo capitolo propongo alcune proposte didattiche per la scuola primaria finalizzate all'apprendimento dei concetti cardine dell'educazione ambientale ed alimentare, nell'ottica di uno sviluppo sostenibile.

La strutturazione delle attività è ispirata alle cinque fasi dell'approccio IBSE per l'insegnamento delle scienze, che sono esposte in maniera approfondita all'interno del testo di Barbara Scapellato *“Inquiry-Based Science Education dalla teoria alla pratica: l'approccio IBSE per una comprensione profonda delle scienze naturali”* (2017).

La prima proposta didattica si chiama “L'orto della vita” e consiste nella realizzazione a scuola di un orto didattico, dove gli alunni dovranno osservare, classificare e raccogliere informazioni sulla biodiversità presente attraverso l'approccio dell'investigazione scientifica. L'obiettivo finale è far comprendere agli studenti l'importanza della biodiversità per il funzionamento ecosistemico (da qui la necessità di preservarla) e renderli consapevoli di come l'agricoltura umana possa influenzare la biodiversità animale e vegetale del pianeta.

La seconda proposta didattica si chiama “L'impronta del cibo”: gli studenti, sulla base dei loro consumi abituali, sono chiamati a descrivere le proprie abitudini alimentari e di vita quotidiana per calcolare, con l'aiuto di un apposito programma, la loro impronta ecologica. Dopo aver compreso il significato di questo termine, l'obiettivo è quello di avvicinarli sempre di più ai concetti di cambiamento

climatico e surriscaldamento globale, accentuando in loro la percezione di uno stretto legame tra scelte alimentari individuali e cambiamenti ambientali/climatici.

La terza ed ultima proposta didattica, anch'essa basata sull'approccio dell'investigazione scientifica, si chiama "Un sacco di plastica": gli studenti sono chiamati a svolgere un'indagine nelle proprie famiglie e all'interno della scuola per monitorare la produzione media di rifiuti plastici per persona. Dopo aver quantificato tali rifiuti in termini di peso, essi scopriranno in che modo l'industria alimentare incide sulla produzione di imballaggi di plastica e quali sono le conseguenze ambientali a livello globale di tale problematica.

Tali proposte didattiche possono essere presentate singolarmente oppure collegandole le une alle altre, coprendo così un arco temporale di programmazione più ampio. Per tutti e tre i percorsi si possono riassumere i seguenti elementi di progettazione didattica:

- Destinatari: classi quarte e quinte di scuola primaria.
- Riferimenti teorici nelle Indicazioni Nazionali del 2012 (disciplina scienze):

“Il percorso dovrà mantenere un costante riferimento con la realtà, imperniando le attività didattiche sulla scelta di casi emblematici quali l’osservazione diretta di un organismo o di un micro-ambiente; [...] “ciascun alunno deve essere coinvolto in varie esperienze pratiche”

- Traguardi per lo sviluppo delle competenze al termine della scuola primaria:

“L’alunno esplora i fenomeni con un approccio scientifico: con l’aiuto dell’insegnante, dei compagni, in modo autonomo, osserva e descrive lo svolgersi dei fatti, formula domande, anche sulla base di ipotesi personali, propone e realizza semplici esperimenti”;

“Individua nei fenomeni somiglianze e differenze, fa misurazioni, registra dati significativi, identifica relazioni spazio/temporali;”

“Riconosce le principali caratteristiche e i modi di vivere di organismi animali e vegetali;”

“Espone in forma chiara ciò che ha sperimentato, utilizzando un linguaggio appropriato;”

- Metodologia: le metodologie utilizzate in questo percorso didattico sono il laboratorio e il *cooperative learning*, entrambi inquadrati in un approccio basato sulla ricerca e sull'investigazione scientifica (approccio IBSE).
- Prerequisiti degli allievi: aver già lavorato in un *cooperative learning* con i propri compagni.
- Collegamenti interdisciplinari:
 - Geografia: collegamento con diversi stati del mondo e i loro principali biomi;
 - Matematica: attività di raccolta dei dati e costruzione di grafici;
 - Italiano: utilizzo della lingua, scritta e orale, per la consultazione di testi scientifici e la partecipazione alle discussioni in gruppo.

Prima proposta didattica: “L’orto della vita”

Obiettivi del progetto:

- Sviluppare un atteggiamento curioso ed esplorativo nei confronti della realtà circostante;
- Riconoscere attraverso l’esperienza di coltivazione che la vita di ogni organismo è in relazione con altre e differenti forme di vita;
- Fare osservazioni frequenti e regolari, a occhio nudo e con strumenti appropriati, di una porzione di ambiente (orto didattico);
- Conoscere il significato di biodiversità e riconoscerne l’importanza per l’equilibrio ecosistemico;
- Elaborare i primi elementi di classificazione animale e vegetale sulla base di osservazioni personali;
- Realizzare l’importanza delle relazioni trofiche tra gli esseri viventi sul funzionamento di un ecosistema;
- Conoscere le differenze tra i diversi approcci nell’agricoltura (es. coltivazioni biologica e convenzionale) in modo da comprenderne gli impatti e le conseguenze sull’ecosistema.

Le fasi di realizzazione di questo percorso didattico dovranno partire intorno al mese di marzo/aprile, in modo tale che il clima e le temperature esterne consentano lo sviluppo dell’orto didattico e, parallelamente, sia possibile per gli studenti compiere le osservazioni.

Ecco una tabella riassuntiva delle cinque fasi della proposta didattica “L’orto della vita”.

	Obiettivi di apprendimento	Domande di ricerca	Attività proposte	Materiali utili per l’attività
<i>Engage</i>	Comprendere che il concetto di biodiversità è	Cos’è la biodiversità e cosa	Uscita didattica in ambiente naturale	Blocco note, macchina fotografica,

	<p>un insieme di tutti gli organismi viventi esistenti in natura: animali, vegetali, funghi, microrganismi.</p>	<p>comprende?</p>	<p>(bosco) e osservazione di tutti gli esseri viventi in esso presenti.</p> <p><i>Brainstorming</i> sul concetto di biodiversità. Discussione collettiva con domande stimolo sul significato di questo termine e l'importanza di tutte le specie viventi, dai microrganismi alle piante.</p>	<p>cartellone per il <i>brainstorming</i>.</p>
<p><i>Explore</i></p>	<p>Comprendere le principali differenze tra la gestione di un orto con metodo convenzionale e biologico.</p> <p>Osservare gli</p>	<p>Quali sono gli effetti della gestione convenzionale e biologica dell'orto sulla fauna del suolo?</p>	<p>Preparazione dell'orto didattico (due porzioni biologiche e due convenzionali) da parte della classe</p>	<p>Porzione di terra da coltivare, strumenti per il giardinaggio (tridente foraterra, rastrello, zappa), semi di</p>

	effetti di questi due tipi di gestione dell'orto sulle comunità biologiche del suolo.		suddivisa in quattro gruppi. Campionamento della fauna del suolo e costruzione di grafici. Esposizione dei risultati emersi.	ortaggi, contenitori in plastica o alluminio per le trappole a caduta.
<i>Explain</i>	Comprendere la fitta rete di relazioni tra le diverse reti trofiche, e il ruolo della biodiversità nel garantire un buon funzionamento ecosistemico. Conoscere i principali effetti dell'agricoltura convenzionale su scala globale.	A cosa serve la biodiversità? Cosa sono le reti trofiche? Quali sono gli effetti delle agricolture convenzionale e biologica sulla biodiversità?	Commento dei risultati emersi dai gruppi. Spiegazione teorica da parte dell'insegnante.	Video in Internet e materiale informativo per bambini sul tema.
<i>Elaborate</i>	Comprendere	Che cosa ci	Pranzo/	Ortaggi ottenuti

	<p>l'importanza della biodiversità nella nostra vita quotidiana e saper analizzare le principali relazioni di causa effetto della gestione ambientale (es. relazione tra le tecniche agricole e la scomparsa delle api)</p>	<p>offre la biodiversità nella vita di tutti i giorni? Perché le api stanno scomparendo?</p>	<p>merenda utilizzando i prodotti dell'orto; successivo lavoro a coppie per far emergere i servizi di fornitura della biodiversità. <i>Cooperative learning</i> a partire da documenti che trattano il tema della scomparsa delle api; successiva costruzione di un cartellone.</p>	<p>dall'orto didattico, frullatore o cucina della scuola. Materiale divulgativo per bambini sulla scomparsa delle api.</p>
<i>Evaluate</i>	<p>Vedi tabella delle conoscenze, abilità e competenze.</p>	<p>Cosa ho appreso da questo progetto?</p>	<p>Esposizione a gruppi del proprio cartellone sulla ricerca delle api. Compilazione</p>	<p>Cartellone e questionario auto valutativo a scelta multipla costruito dall'insegnante.</p>

			di un questionario auto valutativo a scelta multipla.	
--	--	--	---	--

Prima fase: Engage

La prima fase del percorso didattico alla scoperta dell'importanza della biodiversità è quella che, come detto in precedenza, serve per creare interesse, generare curiosità e domande nella mente degli studenti, scoprire cosa sanno già e far emergere eventuali conoscenze errate (Scapellato, 2017).

La prima lezione (della durata di due ore) può essere destinata ad un'uscita didattica su un territorio naturale circostante (bosco) in cui agli alunni, divisi in piccoli gruppi, viene chiesto di fotografare tutti gli organismi viventi che incontrano e di annotarne i nomi che conoscono su un blocco note. L'obiettivo è quello di far emergere una misconcezione molto comune negli studenti ossia pensare che il concetto di biodiversità si riferisca solamente alla diversità di specie animali: questo concetto fa invece riferimento a tutto il regno dei viventi e comprende anche numerosi microrganismi non visibili a occhio nudo. Al termine dell'uscita, l'insegnante propone in classe un brainstorming in cui chiederà agli studenti che cosa associano alla parola biodiversità: questa parola verrà scritta in grande su un foglio e il foglio verrà diviso con la forbice in due pezzi in modo da lavorare separatamente sulle due parti della parola "bio" e "diversità". L'insegnante annoterà tutte le risposte su un cartellone, cercando di stimolare i ragazzi a riflettere che la biodiversità è un concetto complesso, che comprende vari livelli (biodiversità genetica, specifica, ecosistemica) e non riguarda soltanto il mondo animale, ma comprende tutti gli esseri viventi che sono interconnessi da una fitta rete di relazioni, dal mondo dei microrganismi a quello delle piante e dei funghi.

Dall'uscita nel bosco, è molto probabile che la maggior parte delle osservazioni sulla biodiversità siano legate al mondo animale, in particolare a quello degli insetti,

più facilmente avvistabili. Uno strumento semplice, ma molto efficace, per “agganciare” gli studenti e aiutarli a esprimere ciò che già sanno consiste nell’incoraggiarli con domande tipo:

- Secondo voi le piante sono organismi viventi?
- A cosa servono le piante?
- Cosa succederebbe se scomparissero gli insetti?

Le attività di *Engage* devono coinvolgere tutti gli studenti in modo da portarli a porsi delle domande e a volerne sapere di più; esse possono consistere in dimostrazioni scientifiche o attività che generano sorpresa (il cosiddetto effetto WOW!) negli alunni poiché li portano ad osservare qualcosa per la prima volta. A al proposito, nel caso degli insetti, si possono portare gli studenti in un’area naturale vicino alla scuola o, più semplicemente, nel giardino o nel cortile della scuola per far loro osservare con una lente di ingrandimento gli insetti che trovano.

La durata dell’attività di *Engage* dipende dalla situazione, dall’argomento da trattare e dalle competenze della classe. Per ottimizzare il tempo dedicato all’attività di discussione, possono essere adottate diverse strategie per la gestione del tempo: una di queste consiste nel fissare in anticipo un limite di tempo a disposizione per ogni studente (ad esempio un minuto) e nel riportare tutti gli interventi su cui non si ha avuto tempo di discutere sul quaderno o su una bacheca virtuale della classe (Google Classroom) per poi ritornarci in un secondo momento; un’altra strategia del controllo del tempo è il *Think-Pair-Share*, una struttura elaborata da Kagan per l’apprendimento cooperativo: l’insegnante chiede a ciascun alunno di rispondere singolarmente ed in forma scritta ad una domanda, successivamente organizza gli studenti in coppie e li invita a discutere sulle loro risposte cercando punti in comune e differenze fino ad arrivare ad elaborare una risposta condivisa; il tutto dovrà essere cronometrato. Un fattore che è necessario tenere sotto controllo in questa fase è la tendenza dell’insegnante a volere sempre rispondere alle domande che vengono poste dagli studenti. In questa fase infatti bisogna resistere e non fornire alcuna risposta, né dare definizioni formali e neppure anticipare agli studenti conclusioni

alle quali dovranno arrivare da soli: nella fase di *Engage* gli studenti devono rispondere alle domande basandosi soltanto sulle loro conoscenze, esperienze pregresse e non possono quindi consultare libri, né Internet o altre fonti di informazione.

Seconda fase: Explore

In questa fase gli alunni fanno esperienza concreta dei concetti introdotti nella fase precedente e utilizzano le loro preconoscenze per generare nuove idee, esplorare domande e condurre investigazioni. Le attività di esplorazione comportano che gli studenti applichino una serie di abilità di processo.

Secondo Michael J. Padilla (1990), queste abilità sono un insieme di capacità ampiamente trasferibili, che riflettono il comportamento degli scienziati (osservare, fare inferenze, misurare, comunicare, classificare, fare previsioni, formulare ipotesi, controllare le variabili, interpretare i dati ecc.). Per esempio, per i bambini della scuola primaria, in quinta elementare gli standard stabiliscono che le abilità da sviluppare per fare l'*Inquiry* scientifico sono le seguenti:

- saper identificare domande che possono trovare risposta attraverso investigazioni scientifiche;
- saper progettare e condurre un'investigazione scientifica;
- saper utilizzare strumenti appropriati per raccogliere, analizzare e interpretare dati;
- saper sviluppare descrizioni, spiegazioni, previsioni e modelli utilizzando le evidenze raccolte;
- saper pensare in modo critico e logico per creare una connessione tra le evidenze e le spiegazioni;
- saper riconoscere e analizzare spiegazioni e previsioni alternative;
- saper comunicare le procedure e le spiegazioni scientifiche;
- saper usare la matematica in tutti gli aspetti dell'*Inquiry* scientifico.

In questa fase si passa all'investigazione sperimentale. Ancora una volta è importante ricordare che l'investigazione deve essere svolta dai ragazzi prima della

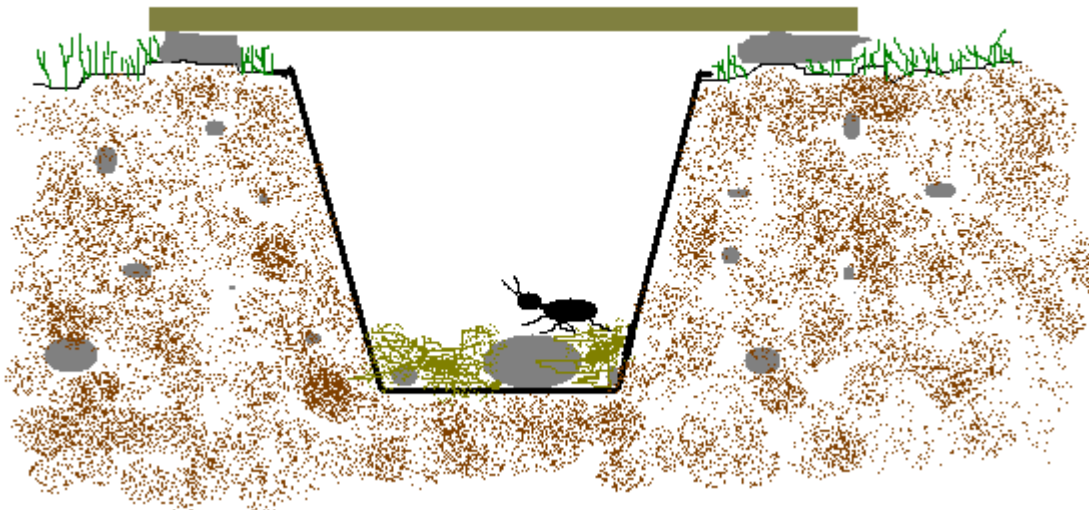
spiegazione da parte dell'insegnante. Le attività di *Inquiry* devono essere caratterizzate da domande investigabili, devono permettere di raccogliere evidenze sperimentali per rispondere alle domande e formulare spiegazioni a partire dalle evidenze. La mia proposta per questa fase comprende due attività.

Nella prima, gli alunni collaborano alla realizzazione di un orto didattico nel giardino della scuola in cui vengono seminate, realizzando delle file, diverse tipologie di ortaggi (le più comuni sono pomodori, basilico, insalata, fagiolini, zucchine). L'orto didattico dovrà essere preparato suddividendo lo spazio in quattro appezzamenti di uguale grandezza (è possibile delimitarli con del nastro): due di essi verranno coltivati in maniera convenzionale, cioè utilizzando fertilizzanti chimici e pesticidi, mentre gli altri due appezzamenti saranno destinati alla coltivazione biologica. Quest'ultima tipologia di coltivazione considera il terreno come il substrato vitale fondamentale, pertanto cerca di preservare il più possibile la grande quantità di esseri viventi presenti nei diversi strati del suolo poiché riconosce in ognuno di essi un ruolo fondamentale nel processo di crescita della pianta. Pertanto, i due appezzamenti destinati alla coltivazione biologica dovranno rispettare alcuni accorgimenti:

- La vangatura, ossia il rivoltamento degli strati di terreno coltivabile è vietata al fine di rispettare la stratigrafia esistente e il relativo corredo di micro flora e micro fauna, indispensabile per la decomposizione della materia organica;
- Deve essere presente uno strato di copertura composto da foglie, aghi di conifere, residui di ortaggi ed erba sfalciata o paglia; questo strato serve a proteggere il terreno dal caldo, dal freddo, dalla pioggia battente e costituisce la riserva di nutrienti del terreno. È possibile preparare preventivamente un cumulo di queste sostanze che verrà fatto maturare per qualche settimana e poi sparso direttamente sul terreno.
- Sotto allo strato di protezione deve essere presente un sottile strato di decomposizione, dove sono presenti i residui vegetali in via di decomposizione;
- Per garantire una corretta areazione del terreno si utilizza il tridente foraterra.

Anche gli alunni della classe vengono suddivisi in quattro gruppi, ciascuno dei quali si occuperà di un appezzamento: l'insegnante dovrà fornire ad essi le indicazioni su come preparare al meglio i quattro appezzamenti di terreno, spingendoli ad interrogarsi sul perché la coltivazione biologica fa uso di determinati accorgimenti. Anche in questa fase è bene ricordare che bisogna astenersi dall'anticipare concetti che verranno trattati in fase di *Explain*. Questa prima fase dovrà svolgersi indicativamente nel mese di febbraio/marzo e prevedere, oltre alla semina, l'irrigazione frequente e il monitoraggio giornaliero delle piante che durerà circa un mese. Quando le piante saranno abbastanza grandi, l'attività di investigazione può iniziare.

Ciascun gruppo dovrà costruire delle trappole a caduta per insetti (almeno due per ogni appezzamento): esse sono costituite da un contenitore piuttosto profondo inserito all'interno del terreno (è possibile utilizzare dei bicchieri di plastica o delle lattine recise) e coperto in superficie per evitare che si riempia di acqua in caso di pioggia. Il bordo superiore del contenitore dovrà coincidere con lo strato superficiale di suolo.



Una volta create le trappole, esse andranno posizionate nei diversi appezzamenti di terreno, dove verranno lasciate per qualche giorno. Trascorso questo tempo, ciascun

gruppo dovrà effettuare il campionamento della fauna del suolo facendo un conteggio degli individui presenti nelle proprie trappole: essi dovranno annotarne su una tabella il nome dell'insetto, la sua descrizione fisica e il numero di esemplari trovati. Le informazioni ricavate dall'osservazione diretta verranno poi confrontate con la consultazione di un'enciclopedia scientifica o di un sito Internet per la classificazione degli insetti trovati. Questa fase richiederà circa due lezioni. Durante questi momenti l'insegnante assume il ruolo di guida e conduce i ragazzi verso la formulazione di nuove domande e ipotesi: "Qual'è il ruolo di ciascun insetto che avete osservato?", "Quali sono i benefici che queste specie procurano alle piante e quali sono i danni?" "Secondo voi ci sono solo specie dannose?". Tendenzialmente in questa prima fase gli alunni, anche sulla base delle loro preconoscenze, faranno emergere soprattutto i danni che gli insetti procurano ai vegetali (le lumache mangeranno l'insalata), ma le domande guidate dovrebbero fare emergere anche l'utilità di alcune specie alla produttività del raccolto. Il grado di guida da parte dell'insegnante può essere variabile, per esempio l'insegnante potrebbe mostrare la procedura, ma chiedere agli studenti di progettare l'organizzazione dell'attività e la modalità di raccolta dei dati. Durante attività di tipo guidato, o aperto, se gli studenti non sono abituati a lavorare in questo modo il loro livello di frustrazione potrebbe aumentare: perciò non bisogna avere fretta e dare agli studenti il tempo necessario per sviluppare procedure con il sostegno dell'insegnante durante tutto il processo. Al termine delle ricerche, ciascun gruppo avrà a disposizione un arco di tempo limitato per esporre alla classe i risultati emersi dal campionamento della propria porzione di suolo: per farlo, essi possono servirsi di una tabella (come quella riportata qui sotto) o di un grafico a istogramma che metta visivamente in evidenza il numero e le specie di esemplari trovati.

Nome comune dell'individuo	Nome scientifico dell'individuo	Descrizione fisica	Numero di esemplari trovati	Altre annotazioni

Al termine dell'esposizione, l'insegnante dovrà portare l'attenzione dei ragazzi sulla differenza di campionamento emersa dalle due diverse porzioni di suolo, quella biologica e quella convenzionale facendo numerosi confronti tra i dati emersi. Molto probabilmente in situazione di agricoltura biologica la biodiversità della fauna entomofila sarà maggiore e ciò deve portare gli alunni a ricercare delle spiegazioni: questo è un ottimo momento di discussione collettiva nel quale l'insegnante deve ancora una volta resistere nel fornire i concetti teorici.

Terza fase: Explain

In questa fase gli studenti vengono aiutati a focalizzare l'attenzione su particolari aspetti dell'esperienza fatta attraverso la spiegazione di concetti, l'introduzione del lessico scientifico e la discussione sulle misconcezioni emerse. È in questa fase che si inseriscono le due ultime caratteristiche fondamentali dell'*Inquiry*:

1. Valutare le spiegazioni formulate a partire dalle evidenze raccolte anche alla luce di spiegazioni alternative (confronto tra pari e confronto con le conoscenze scientifiche note);
2. Comunicare e argomentare le spiegazioni proposte attraverso l'utilizzo di video, diapositive, spiegazioni interattive o lezioni frontali.

Infatti, in classe, dopo che i gruppi avranno discusso i risultati ottenuti durante l'investigazione (come i pesticidi influenzano la biodiversità legata alla fauna del suolo), l'insegnante avvierà la spiegazione. In una prima fase infatti, gli studenti esprimeranno a parole i concetti che hanno appreso tramite l'investigazione, successivamente il focus sarà sull'insegnante: partendo da quanto emerso dai singoli gruppi egli dovrà collegare le loro idee ai concetti scientifici della disciplina per costruire un apprendimento concreto e significativo. I temi su cui si concentrerà la spiegazione dell'insegnante, i quali sono alla base della ricerca svolta, riguardano diverse tematiche: l'esistenza di reti trofiche che uniscono tutti gli esseri viventi tra loro (vegetali, animali e di altri regni) cioè produttori primari, consumatori primari e consumatori secondari in un ciclo di scambi energetici e di sostanze nutritive che inizia dal Sole e si chiude con gli organismi decompositori, per poi ritornare alle

piante. Ai ragazzi deve essere chiaro che senza gli insetti e la biodiversità del suolo, che comprende un enorme varietà di microrganismi, le sostanze nutritive utili alle piante per la loro crescita non ritornerebbero nel ciclo e la catena alimentare si spezzerebbe. L'insegnante deve porre l'accento sull'importanza di ogni singolo essere vivente in questo ciclo e sul fatto che la biodiversità debba essere protetta anche perché garantisce una maggiore capacità di adattamento in caso di cambiamenti ambientali e numerosi servizi di fornitura all'ambiente e agli esseri umani (riciclaggio dei rifiuti, cibo, vestiario, piante curative ecc). Egli dovrà inoltre mettere in relazione le moderne tecniche agricole, che fanno uso di prodotti chimici e di monocolture con la diminuzione della biodiversità, citando qualche esempio su scala globale. Per spiegare questi concetti l'insegnante può servirsi di numerosi video presenti in Internet o di articoli informativi per bambini sul tema.

Quarta fase: Elaborate

Nella fase di Elaborate, attraverso nuove esperienze, gli studenti trasferiscono ciò che hanno imparato in nuove attività e sviluppano una comprensione più ampia e profonda dei concetti trattati andando oltre alle conoscenze acquisite in fase di *Explore* e migliorando le loro abilità e competenze. Essi dovranno saper impiegare il nuovo lessico della disciplina appreso ed utilizzarlo eventualmente anche in scenari di vita reale. In questa fase, assume grande importanza la capacità di *transfer* di ciascun alunno (Thorndike, 1923), ossia il saper trasferire le conoscenze apprese in contesti nuovi. Un compito molto stimolante è quello del caso clinico, ossia dell'analisi di una situazione sconosciuta alla quale occorre dare una spiegazione ricercando relazioni. Occorre comunque ricordare che la scelta delle attività da proporre in questa fase dipende dall'età degli studenti, dal loro livello scolastico e dalle risorse a disposizione. Due attività da proporre in questa fase sono le seguenti.

Nella prima, intitolata "La biodiversità ci cura e ci dà da mangiare" l'insegnante propone agli alunni di organizzare una merenda o un pranzo (secondo le disponibilità della scuola) utilizzando i prodotti ottenuti dall'orto didattico

realizzato dai bambini. Con l'utilizzo del frullatore è possibile ottenere dei gustosi frullati di frutta e verdura mentre se c'è la possibilità di collaborare con la cucina della scuola, è possibile preparare una pasta alle verdure con dell'insalata (il menù sarà scelto insieme a seconda dei prodotti a disposizione). Dopo il pranzo, l'insegnante farà riflettere gli alunni sul qual'è stato il tipo di biodiversità presente sulla loro tavola e sul fatto che essa ha fornito loro del cibo; successivamente, egli suddivide la classe a coppie e ogni coppia deve elencare almeno tre altre modalità (oltre alla produzione di cibo) con cui la biodiversità aiuta e sostiene quotidianamente l'uomo e gli altri viventi. Seguirà un momento di discussione collettiva sui principali servizi di fornitura della biodiversità: riciclaggio dei rifiuti, vestiario, protezione, riscaldamento, farmaci. Gli alunni devono comprendere che la biodiversità è un concetto molto concreto che entra nelle vite di ognuno di noi mediante numerosi servizi che ci consentono di sopravvivere e di farlo nel migliore dei modi: resteranno sorpresi da quanta biodiversità c'è nella loro vivere quotidiano. La seconda attività che si può proporre agli studenti si serve delle conoscenze acquisite fino ad ora e permette loro di andare oltre: analizzare un fenomeno reale e cercare di trovare delle spiegazioni costruendo relazioni di causa-effetto. L'insegnante suddivide la classe in piccoli gruppi, a ognuno dei quali distribuisce del materiale che tratta il tema della scomparsa delle api. Ciascun gruppo dovrà leggere attentamente gli articoli e, tramite la ricerca in Internet, trovare le possibili cause del fenomeno dell'estinzione delle api. Alcune domande guida fornite dall'insegnante potrebbero essere:

- Perché le api stanno scomparendo?
- Qual'è il ruolo dell'uomo in questo fenomeno?
- Quando è iniziato questo fenomeno?
- Perché sono importanti le api?

È importante in questa fase lasciare che gli alunni investighino creando collegamenti con quanto appreso fino ad ora ed eventualmente facendo emergere ulteriori domande che orienteranno la nuova ricerca. Questa attività durerà circa due ore ed infine dovrà portare alla realizzazione, da parte di ogni gruppo, di un

cartellone che esponga tutte le cause trovate ed eventuali altre informazioni rilevanti emerse in fase di ricerca. Si concluderà con un'esposizione orale dei gruppi sul lavoro fatto.

Quinta fase: Evaluate

In questa fase viene valutato il progresso degli studenti nel raggiungimento degli obiettivi educativi formulati in fase di progettazione e viene enfatizzata anche l'importanza dell'autovalutazione da parte degli alunni circa la comprensione di quanto appreso. Durante tutto il percorso di apprendimento è possibile rilevare tre tipi di valutazione degli studenti: la prima è quella diagnostica che inizia durante la fase di *Engage* e che serve agli studenti e all'insegnante per far emergere quali sono le preconoscenze e le eventuali misconcezioni sull'argomento che si andrà a trattare. A questa valutazione perciò non viene assegnato alcun voto poiché serve a stabilire qual'è il punto di partenza degli studenti e quali sono le aree su cui l'insegnante deve focalizzarsi maggiormente. La seconda valutazione, anch'essa senza voto, è quella formativa e consente all'insegnante di valutare come sta procedendo l'apprendimento degli studenti; può essere fatta mediante discussioni collettive, questionari, costruzione di tabelle. Infine, attraverso la valutazione sommativa, l'insegnante quantifica il livello di conoscenze acquisite dagli studenti al termine di un'attività o, come in questo caso, di un percorso di ricerca. Trattandosi di un percorso di apprendimento basato sull'approccio IBSE la fase di *Evaluate*, che si colloca in fondo a tutte le altre, andrebbe tuttavia pensata per prima poiché, come sostiene Rodger Bybee (Bybee, 2013; Scapellato, 2017) il percorso di apprendimento va pianificato a partire dalla definizione di ciò che merita di essere appreso. Per prima cosa infatti si devono identificare i risultati desiderati del percorso di apprendimento, poi si devono determinare le evidenze di accettabilità, ossia le evidenze che dimostrano che gli studenti hanno appreso conoscenze, abilità e competenze, quindi si progettano modalità di valutazione capaci di fornire tali evidenze. Solo dopo aver progettato la fase di *Evaluate* si passerà a pianificare tutte

le altre fasi, includendo attività che siano in grado di condurci ai risultati che vogliamo ottenere.

Ecco riassunte nella tabella sottostante le conoscenze, competenze e abilità desiderabili che costituiscono le evidenze di accettabilità per questo progetto.

Conoscenze	Abilità	Competenze
Gli studenti conoscono il significato del concetto di biodiversità e i principali servizi di fornitura da essa prodotti, sanno cosa sono le reti trofiche e hanno appreso che ogni essere vivente ha una funzione ecosistemica; conoscono le principali differenze tra agricoltura convenzionale e biologica; conoscono le implicazioni ambientali e sulla biodiversità della moderna agricoltura convenzionale.	Gli studenti sanno utilizzare tecniche di cattura della flora del suolo e sanno campionare gli individui trovati inserendo i dati in una tabella; sanno costruire un grafico a istogramma, realizzare in gruppo una ricerca utilizzando le tecnologie informatiche e sintetizzare i dati essenziali su un cartellone; essi sanno inoltre esporre oralmente i risultati delle loro ricerche alla classe.	Gli studenti sanno identificarsi come parte integrante di una rete di scambi tra l'ambiente naturale e gli esseri viventi; riconoscono l'importanza della biodiversità per i viventi e per l'uomo e sanno riconoscerne il valore nella loro quotidianità. Partendo dalla lettura di un semplice articolo scientifico, essi sanno costruire legami logico-sequenziali.

Sulla base delle evidenze di accettabilità presenti nella tabella, per questo progetto le valutazioni sono di tre tipi:

- **Formativa:** dovrà tenere conto dell'intero processo di apprendimento di ogni alunno e del suo ruolo all'interno del gruppo di ricerca e dei gruppi di discussione;
- **Sommativa:** sarà costituita da un voto finale dato a tutto il gruppo per l'elaborato finale prodotto durante la fase di Elaborate e per l'esposizione orale del proprio cartellone;

- Autovalutazione: ad ogni alunno, al termine del progetto verrà consegnato un questionario di autovalutazione a scelta multipla costruito dall'insegnante e contenente le principali informazioni trattate durante tutto il percorso di apprendimento. Il questionario verrà poi corretto collettivamente.

Seconda proposta didattica: “L’impronta del cibo”

Obiettivi del progetto:

- Sviluppare un atteggiamento curioso ed esplorativo nei confronti della realtà circostante;
- Osservare ed interpretare le diverse trasformazioni ambientali, ivi comprese quelle globali, in particolare quelle conseguenti all’azione modificatrice dell’uomo;
- Conoscere la catena di produzione dei principali alimenti di consumo umano;
- Comprendere il concetto di impronta ecologica;
- Comprendere che le proprie abitudini alimentari producono effetti sull’ambiente e sui viventi;
- Conoscere la definizione di effetto serra e di cambiamento climatico;
- Conoscere le principali implicazioni dell’attuale cambiamento climatico sull’uomo e sui viventi.

Ecco una tabella riassuntiva delle cinque fasi della proposta didattica “L’impronta del cibo”.

	Obiettivi di apprendimento	Domande di ricerca	Attività proposte	Materiali utili per le attività
<i>Engage</i>	Comprendere che i prodotti alimentari non sono tutti uguali ma differiscono per stagionalità,	Che differenza c’è tra i diversi tipi di cibo che si trovano al supermercato?	Raccolta individuale di fotografie scattate al supermercato. Discussione collettiva in	Macchina fotografica.

	provenienza, dicitura biologica e tipo di imballaggio.		classe sulle fotografie trovate.	
<i>Explore</i>	Comprendere che le scelte alimentari personali hanno delle ricadute sull'ambiente e che ciò viene espresso attraverso il concetto di impronta ecologica alimentare.	Quanto incide sull'ambiente ciò che mangiamo abitualmente? Quali sono i cibi con impronta ecologica alimentare maggiore?	Ricerca a gruppi sul programma <i>on-line</i> del WWF per calcolare la propria impronta ecologica alimentare. Costruzione dei grafici. <i>Cooperative learning</i> a partire da materiale informativo sul tema.	Computer con accesso a Internet, materiale informativo sull'argomento.
<i>Explain</i>	Comprendere che i processi produttivi degli alimenti incidono sull'ambiente attraverso la produzione di	Cosa sono l'effetto serra e l'impronta ecologica alimentare? In che modo incide	Esposizione orale dei lavori di gruppo. Spiegazione teorica da parte dell'insegnante .	Video in Internet sul tema.

	CO ₂ (aumento dell'effetto serra), il consumo di acqua e di suolo.	sull'ambiente ciò che mangiamo abitualmente?		
<i>Elaborate</i>	Saper identificare, a partire dalla piramide alimentare, quali sono gli alimenti con maggior impronta ecologica. Comprendere che l'impronta ecologica non riguarda solo il cibo che si consuma, ma in generale lo stile di vita che si conduce (mobilità, abbigliamento, hobby, acquisto di oggetti ecc..).	Qual è l'impronta ecologica degli alimenti della nostra piramide alimentare? Quanto impatta sull'ambiente il nostro stile di vita quotidiano?	“Le due piramidi”: attività di riordino degli alimenti secondo la loro impronta ecologica. “Oltre l'impronta ecologica alimentare”: attività di calcolo a gruppi su Internet dell'impronta ecologica riferita allo stile di vita. Successiva discussione collettiva in	Immagine della piramide alimentare (reperibile su Internet), computer con accesso a Internet.

			classe.	
<i>Evaluate</i>	Vedi tabella delle conoscenze, abilità e competenze.	Cosa ho appreso da questo progetto?	Attività di modifica di una dieta settimanale al fine di ridurre l'impronta ecologica alimentare.	Tabella della dieta settimanale.

Prima fase: Engage

In questa prima fase del progetto, lo scopo delle attività proposte è di iniziare ad orientare gli studenti nell'universo dei generi alimentari presenti al supermercato per sondare le loro conoscenze a proposito di alcune variabili come la stagionalità, la provenienza, la dicitura Bio e il tipo di imballaggio dei diversi prodotti. Sebbene sia molto difficile, in questa prima fase l'insegnante deve resistere nel fornire le risposte alle numerose domande che sorgeranno dagli studenti, poiché qui il focus è centrato unicamente sulle loro preconoscenze, le eventuali misconcezioni e le loro curiosità sull'argomento e non è previsto alcun contributo da parte dell'adulto. Per stimolare l'interesse degli alunni ed introdurli gradualmente verso l'argomento trattato, l'insegnante chiederà loro di recarsi al supermercato con i propri genitori e di scattare qualche foto (due o tre per bambino): essi potranno fotografare direttamente gli alimenti a loro scelta presenti sui banconi (frutta, verdura, pesce, carne, cibi confezionati) oppure le loro etichette, con indicati il prezzo, la provenienza e gli ingredienti. Al ritorno in classe, l'insegnante chiederà a ciascun alunno di mostrare le foto che ha scattato e darà il via ad una discussione collettiva: egli dovrà far emergere dagli studenti quanto è importante secondo loro, nel momento in cui si va a fare la spesa, tenere in considerazione variabili quali la

stagionalità del prodotto, l'etichetta Bio, la sua provenienza e il tipo di imballaggio.

Egli potrà stimolarli con alcune domande guida:

- Cosa ha di diverso un cibo biologico?
- Preferireste comprare carne italiana che costa di più o carne importata che costa meno? Perché?
- Comprereste le fragole a gennaio?
- Perché i cibi sfusi costano meno dei cibi confezionati?

In questa prima fase gli alunni saranno probabilmente portati a prediligere i cibi che costano meno, oppure a preferire quelli di stagione soprattutto per il loro sapore; difficilmente terranno in considerazione la quantità di imballaggio plastico utilizzato o il lungo tragitto che un prodotto ha compiuto per arrivare fino al negozio ma tutto ciò è normale: ciò che conta in questa fase è che ciascuno di loro esprima una preferenza e sappia motivarla. Durante la discussione l'insegnante prenderà nota delle considerazioni degli studenti e le conserverà per la fase di *Explain*.

Seconda fase: Explore

In questa fase, dedicata all'investigazione, gli studenti devono sperimentare attivamente il concetto di impronta ecologica alimentare partendo da un'esperienza concreta: il proprio consumo settimanale di alimenti. Lo scopo di questa fase per gli alunni è comprendere che le proprie scelte alimentari hanno delle ricadute sull'ambiente, espresse attraverso il calcolo dell'impronta ecologica alimentare. Prima dello svolgimento dell'attività in classe, l'insegnante chiede agli alunni di registrare a casa propria, per una settimana, i propri consumi alimentari nei quattro pasti principali della giornata (colazione, pranzo, merenda e cena) compilando una tabella come quella presente qui sotto. Essi dovranno inoltre segnalare, facendosi aiutare da un adulto, se un prodotto proviene da agricoltura biologica (a marchio Bio), se è locale o di stagione.

	Colazione	Pranzo	Merenda	Cena
Lunedì				
Martedì				
Mercoledì				
Giovedì				
Venerdì				
Sabato				
Domenica				
Metti: * se il prodotto è biologico ° se è di stagione x se è locale (italiano o regionale).				

Una volta raccolti questi dati può iniziare la fase di investigazione: l'insegnante suggerirà agli alunni la domanda da cui deve partire la ricerca che è la seguente: "In base alla propria dieta settimanale, quanto incide ciò che mangiamo sull'ambiente?" Per rispondere a questa domanda, la classe viene suddivisa in gruppi cooperativi di tre o quattro alunni ciascuno. Ogni gruppo, munito delle proprie diete settimanali, ha accesso ad un programma online elaborato da WWF (<http://www.improntawwf.it/carrello/#>) il quale permette in maniera divertente e sotto forma di gioco di calcolare l'impronta ecologica di acqua e CO₂ in base ad una spesa settimanale di alimenti. L'attività consiste, per ogni gruppo, nell'inserire di volta in volta i dati di ciascun membro del gruppo all'interno del programma di calcolo, trascinando nel carrello tutti i prodotti consumati in una settimana nelle rispettive quantità. Al termine della spesa il programma fornirà due risultati, il primo relativo all'impronta ecologica di acqua e il secondo di anidride carbonica. Una volta che tutti i gruppi avranno terminato questa fase, l'insegnante chiederà loro di costruire un grafico a istogramma sul computer inserendo per ogni alunno due colonne relative ai due risultati emersi. Al termine della lezione l'insegnante lascerà un po' di tempo ai gruppi per discutere di quanto è emerso e per riflettere sul

significato di impronta ecologica. Sarà importante che ogni gruppo metta a confronto le diverse diete dei compagni di gruppo e le paragoni ai risultati emersi dal test, provando a fare ipotesi su quali sono i cibi che incidono maggiormente sui diversi risultati e le motivazioni. In questa prima fase gli alunni non hanno ancora gli strumenti conoscitivi per collegare il concetto di impronta ecologica all'alterazione dell'effetto serra e ai cambiamenti climatici tuttavia, dopo aver finito il test, avranno l'impressione che alcune diete sono meno rispettose dell'ambiente rispetto ad altre e per il momento questo basta. L'insegnante dovrà aiutarli e guidarli in questo passaggio con domande tipo: "Chi tra di voi ha mangiato più frutta e verdura?" "Come incide secondo voi il consumo di carne?" "Chi ha comprato più frutta tropicale importata?" "Chi ha consumato più prodotti di origine animale?"

La lezione successiva sarà ancora di natura investigativa ma più teorica: l'insegnante formerà gli stessi gruppi del lavoro precedente e a ciascun gruppo consegnerà del materiale informativo sull'impronta ecologica e sull'effetto serra, che gli alunni dovranno leggere e su cui dovranno discutere. In questa fase di progetto, gli studenti non avranno ancora ben chiaro come mai determinati cibi consumati danno risultati diversi in termini di impronta ecologica di acqua e CO₂; ecco perché a questo punto è importante farli ragionare su quali sono i legami che collegano la produzione (e il consumo) di determinati prodotti alimentari con un aumento dell'emissione di anidride carbonica e di impiego di acqua. Per guidarli in questo ragionamento, a ciascun gruppo verrà consegnato un piccolo questionario a domande aperte che li porterà ad interrogarsi sul perché il programma ha restituito loro quei dati:

- In che modo i cibi di cui ci nutriamo "consumano acqua"?
- Quanta acqua viene impiegata per produrre frutta e verdura?
- E per produrre carne e latte?
- In che modo i cibi di cui ci nutriamo "consumano" anidride carbonica?
- Viene prodotta più CO₂ consumando cibi locali o importati? Perché?
- Viene prodotta più CO₂ consumando cibi di stagione o fuori stagione? Perché?

In questa lezione è importante che l'insegnante aiuti gli alunni a creare collegamenti tra ciò che hanno sperimentato grazie al programma e le informazioni che hanno acquisito dai documenti: essi dovrebbero iniziare a comprendere che ciò che mangiamo ha degli effetti sull'ambiente tramite l'alterazione dell'effetto serra; tuttavia, potrebbero essere presenti numerose misconcezioni e ancora tanti dubbi: l'insegnante deve prendere nota di questi ultimi al fine di organizzare al meglio la lezione della fase successiva, quella di *Explain*.

Terza fase: Explain

In questa fase di progetto, il compito dell'insegnante è quello di fornire gli strumenti concettuali, espressi con il linguaggio specifico della disciplina, per permettere agli alunni di comprendere e dare senso all'esperienza svolta, ma anche di chiarire le loro misconcezioni sul tema dell'impronta ecologica e dell'effetto serra. Questa fase durerà tre lezioni e risponderà alle seguenti domande di ricerca: in che modo incide sull'ambiente ciò che mangiamo abitualmente e quali sono i cibi con impronta ecologica maggiore?

La prima lezione è dedicata all'esposizione da parte di ciascun gruppo dei lavori svolti in fase di *Explore*: ogni gruppo disporrà di una quantità di tempo stabilita in partenza da utilizzare sia per esporre i propri istogrammi ottenuti dopo aver svolto il test al computer, sia per spiegare alla classe cos'è secondo loro l'impronta ecologica e come essa è collegata all'effetto serra, fornendo le risposte orali al questionario che era stato loro consegnato nella fase precedente. Durante questo momento i compagni e l'insegnante possono intervenire per chiedere spiegazioni aggiuntive, soprattutto per quanto riguarda il paragone tra le diverse impronte ecologiche delle diete settimanali.

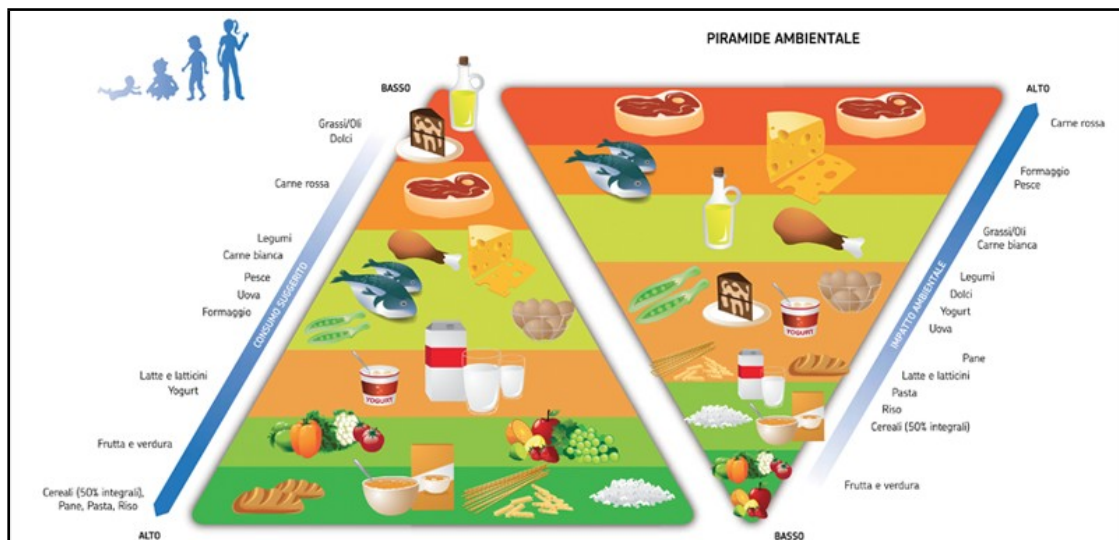
Le lezioni successive invece saranno dedicate alla spiegazione teorica da parte dell'insegnante dei concetti principali di questo argomento, che dovranno essere messi in relazione tra loro in maniera chiara, al fine di superare le misconcezioni emerse fino a quel momento. Il primo passo per l'insegnante è iniziare a spiegare cos'è l'effetto serra (è possibile supportarsi con video in Internet) e qual è il ruolo

dell'anidride carbonica in questo processo: è importante mettere il focus sul fatto che l'effetto serra è un meccanismo naturale di protezione del nostro pianeta indispensabile a garantire la vita sulla terra, ciò al fine di risolvere una delle misconcezioni più frequenti tra gli alunni, ossia quella che tende a considerare l'effetto serra come un fenomeno negativo. Tuttavia, l'eccessivo aumento di gas serra, causato dalle numerose attività antropiche e dai processi produttivi degli alimenti, sta provocando un aumento della temperatura sul nostro pianeta con rischi per l'uomo e per gli altri viventi. L'insegnante dovrà inoltre mettere in evidenza l'importante ruolo della fotosintesi dei vegetali nel ridurre la quantità di CO₂ nell'atmosfera: essi infatti sono indispensabili alla sopravvivenza di tutte le forme viventi poiché, oltre a costituire l'alimento base dei consumatori primari sono gli unici in grado di assorbire anidride carbonica per produrre ossigeno attraverso il processo di fotosintesi clorofilliana. Detto ciò sarà indispensabile, per collegare le esperienze fatte nelle fasi precedenti dagli alunni, parlare di come i processi produttivi e di trasporto degli alimenti incidono sulla produzione di anidride carbonica a livello globale, quindi sull'ambiente e sul clima. Alcuni di essi hanno un'impronta ecologica maggiore per diversi motivi: i cibi che provengono da molto lontano ad esempio necessitano di essere trasportati per lunghe distanze su navi o tir con grandi emissioni di CO₂; gli ortaggi coltivati fuori stagione spesso sono cresciuti all'interno di serre che, per riscaldare l'ambiente, producono grandi quantità di questo gas; i numerosi imballaggi plastici richiedono molta energia per essere prodotti e poi finiscono nell'ambiente con tempi di degradazione molto lunghi. Anche i prodotti di derivazione animale hanno un'impronta ecologica maggiore perché per produrli vengono impiegate grandi quantità di acqua e di suolo per ottenere il foraggio. Questo è il momento in cui, in plenaria, si discute sulle considerazioni che gli alunni hanno fatto in fase di *Engage* e le si confronta con le nuove conoscenze acquisite: il *focus* deve essere posto sull'importanza di consumare cibi di stagione, locali, biologici e il più possibile vegetali. Ciascun alunno deve comprendere come, agendo sulle proprie scelte alimentari quotidiane, possa contribuire a ridurre l'impatto dell'uomo sull'ambiente naturale.

Quarta fase: Elaborate

Nella fase di Elaborate, attraverso nuove esperienze, gli studenti trasferiscono ciò che hanno imparato in nuove attività e sviluppano una comprensione più ampia e profonda dei concetti trattati andando oltre alle conoscenze acquisite in fase di *Explore* e migliorando le loro abilità e competenze. Per questa fase sono previste due attività.

Attraverso la prima attività, che si chiama “Le due piramidi” gli alunni dovranno mettere in campo le conoscenze acquisite fino ad ora per ordinare una serie di alimenti forniti dall’insegnante secondo la loro impronta ecologica: alla base di questa attività gli studenti dovranno perciò ragionare in coppia su quali sono i processi di produzione e di trasporto che stanno dietro ad ogni alimento per poterli confrontare con gli altri ed ordinarli sulla piramide. Per prima cosa l’insegnante forma delle coppie di alunni e fornisce alla classe una lista casuale di alimenti. Ciascuna coppia deve costruire una piramide disponendo alla base gli alimenti che hanno un’impronta ecologica maggiore (maggior impatto ambientale) e sulla punta quelli con impronta ecologica minore. Dopo aver fatto ciò l’insegnante chiederà agli studenti di partire dalla famosa immagine della piramide alimentare (facilmente reperibile su Internet), la quale costituisce la base di una dieta sana ed equilibrata, e di riposizionare gli alimenti contenuti al suo interno sotto forma di immagini secondo il parametro dell’impronta ecologica: essi si accorgeranno immediatamente che le due piramidi, quella creata da loro stessi e quella presa da Internet, sono esattamente l’una l’opposto dell’altra. Al termine di questa prima attività l’insegnante condurrà una discussione collettiva per ascoltare le considerazioni di ciascuna coppia: dovrà essere ben chiaro agli alunni che gli alimenti di cui si consiglia un consumo più frequente (piramide alimentare) sono anche quelli che hanno un minor impatto ambientale (frutta, verdura, cereali e legumi) nella seconda piramide.



Oltre al consumo di prodotti alimentari, l'impronta ecologica è un concetto molto ampio che prende in considerazione anche altri parametri, quali la mobilità, l'abitazione, l'acquisto di vestiario e di oggetti, i divertimenti e gli hobby di ciascun individuo, più in generale il suo stile di vita. A partire da questa piccola premessa che l'insegnante farà agli alunni, in questa seconda attività chiamata "Oltre l'impronta ecologica alimentare", essi si cimenteranno nuovamente nella compilazione *on-line* di un questionario di calcolo dell'impronta ecologica, che questa volta prenderà in esame tutti gli aspetti della vita dei ragazzi. La domanda di ricerca che dovranno investigare è la seguente: quanto impatta sull'ambiente il nostro stile di vita quotidiano? L'insegnante suddivide la classe in nuovi gruppi, i quali avranno del tempo prestabilito per compilare il questionario dell'impronta ecologica in Internet e confrontare chi fra loro ottiene il risultato "migliore" in termini ambientali. Alcuni *items* proposti sono facilmente comprensibili dagli alunni e fanno riferimento ad esempio al tipo di riscaldamento della propria casa o al mezzo di trasporto usato per spostarsi; altri, come la classe energetica di appartenenza della propria casa, sono più tecnici e difficilmente deducibili dagli studenti, per cui possono essere tranquillamente evitati. A questa attività seguirà una discussione collettiva di confronto dei risultati emersi con la classe dove l'insegnante parlerà:

- delle relazioni esistenti fra i nuovi parametri presi in considerazione e dei loro effetti sull'ambiente (emissione di CO₂, consumo di acqua e di suolo);

- delle possibili migliorie che è possibile attuare per migliorare la nostra impronta ecologica sull'ambiente: utilizzare la bicicletta per andare a scuola, bere acqua del rubinetto, spegnere le luci quando non servono, riutilizzare capi di seconda mano ecc...

Al termine di questa attività gli alunni potrebbero proporre idee su come migliorare il proprio stile di vita in maniera semplice e quotidiana; è importante far passare il concetto che ciascuno di noi può e deve agire in prima persona per ridurre il proprio impatto sull'ambiente.

Quinta fase: Evaluate

Ecco riassunte nella tabella sottostante le conoscenze, competenze e abilità desiderabili che costituiscono le evidenze di accettabilità per questo progetto.

Conoscenze	Abilità	Competenze
Gli studenti conoscono i concetti di impronta ecologica alimentare ed effetto serra e sanno metterli in relazione; essi sanno che i processi produttivi degli alimenti hanno un impatto sull'ambiente in termini di emissione di CO ₂ , consumo di acqua e suolo. Essi identificano tra diversi alimenti quelli che hanno un'impronta ecologica maggiore e sanno dire perché. Hanno	Gli studenti sanno utilizzare le tecnologie informatiche per compiere delle ricerche e compilare questionari <i>on-line</i> ; sono capaci di confrontarsi argomentando le proprie idee; leggono e comprendono semplici documenti informativi sull'argomento; sanno sintetizzare i dati raccolti in grafici ad istogramma ed espongono oralmente i risultati delle loro ricerche alla classe.	Gli studenti sono consapevoli che il loro stile di vita e le loro scelte alimentari quotidiane hanno un impatto sull'ambiente; essi sono capaci di attuare semplici buone prassi (di alimentazione e stile di vita) per ridurre il proprio consumo di risorse sul pianeta.

<p>inoltre compreso che l'impronta ecologica non è riferita solamente al consumo di cibo ma allo stile di vita in generale.</p>		
---	--	--

Sulla base delle evidenze di accettabilità presenti nella tabella, per questo progetto le valutazioni sono di due tipi:

- **Formativa:** dovrà tenere conto dell'intero processo di apprendimento di ogni alunno e del suo ruolo all'interno del gruppo di ricerca e dei gruppi di discussione;
- **Sommativa:** al termine di tutto il percorso di apprendimento, gli alunni riceveranno un voto numerico rispetto ad una prova di verifica che dovranno affrontare. A ciascuno di essi verrà consegnata una tabella contenente un esempio di dieta settimanale riferita ad un mese particolare creata dall'insegnante: il compito dell'alunno sarà quello di modificarla per cercare di ridurre il più possibile l'impronta ecologica. Egli potrà ad esempio aggiungere alcune diciture (Bio, locale), inserire frutta e verdura di stagione, oppure sostituire dei pasti di origine animale con delle alternative vegetali (legumi al posto del pesce oppure yogurt vegetale in sostituzione al latte vaccino). La correzione verrà eseguita con la classe.

Terza proposta didattica: “Un sacco di plastica”

Obiettivi del progetto:

- Sviluppare un atteggiamento curioso ed esplorativo nei confronti della realtà circostante;
- Osservare ed interpretare le diverse trasformazioni ambientali, ivi comprese quelle globali, in particolare quelle conseguenti all’azione modificatrice dell’uomo;
- Saper utilizzare strumenti di misurazione del peso;
- Saper raccogliere dati e sintetizzarli;
- Stabilire un primo approccio alla problematica dell’attuale inquinamento ambientale, con particolare riferimento a quello marino;
- Cogliere la relazione esistente tra industria alimentare e produzione di rifiuti plastici;
- Acquisire alcune buone prassi per la riduzione del consumo di plastica.

Ecco una tabella riassuntiva delle cinque fasi della proposta didattica “Un sacco di plastica”.

	Obiettivi di apprendimento	Domande di ricerca	Attività proposte	Materiali utili per le attività
<i>Engage</i>	Comprendere che i rifiuti prodotti dall’uomo rappresentano un problema per l’ambiente; sapere che i rifiuti plastici	Cosa sappiamo sui rifiuti e l’ambiente?	Brainstorming in classe su “rifiuti e ambiente”. Visione dell’immagine del <i>pacific trash vortex</i> e	Immagine del <i>pacific trash vortex</i> reperibile da Internet.

	sono oggi una pericolosa minaccia ambientale, soprattutto per gli ecosistemi marini.		discussione collettiva.	
<i>Explore</i>	Acquisire consapevolezza della grande quantità di rifiuti plastici prodotti in una settimana e comprendere che gran parte di tali rifiuti provengono dall'industria alimentare.	Quanti rifiuti plastici produciamo a settimana? Quanti di questi rifiuti provengono dall'industria alimentare?	Attività di pesatura dei rifiuti plastici in classe. Costruzione a gruppi degli istogrammi. Attività di ricerca di gruppo per calcolare i valori medi della produzione di rifiuti plastici.	Bilance pesa persone, sacchi di rifiuti plastici di ogni genere; computers e atlanti geografici.
<i>Explain</i>	Comprendere che l'accumulo di rifiuti plastici in natura provoca importanti	Quali sono i danni ambientali provocati dall'accumulo di rifiuti	Esposizione orale dei lavori di gruppo. Spiegazione teorica da parte	Materiale informativo di vario genere reperibile da Internet.

	<p>danni all'ambiente e agli esseri viventi (ingerimento e morte); comprendere che tali effetti si ripercuotono sull'uomo poiché le microplastiche entrano nella catena alimentare.</p>	<p>plastici sulla terra e nei mari?</p>	<p>dell'insegnante</p>	
<p><i>Elaborate</i></p>	<p>Comprendere che esistono diversi tipi di plastica e sapere per cosa vengono impiegati; sapere che alcuni di questi tipi possono essere riciclati creando nuovi oggetti utili. Saper riutilizzare in</p>	<p>Quanti tipi di plastica esistono? Come si ricicla la plastica? I rifiuti plastici possono essere trasformati in oggetti utili?</p>	<p>Costruzione della carta d'identità della plastica sul cartellone. Laboratorio di costruzione di un oggetto di uso quotidiano utilizzando rifiuti plastici.</p>	<p>Cartellone, computers, rifiuti plastici di vario genere materiali per la decorazione (tempere, nastri, ecc...).</p>

	maniera creativa gli scarti plastici.			
<i>Evaluate</i>	Vedi tabella delle conoscenze, abilità e competenze.	Cosa ho appreso da questo progetto?	Compilazione di un questionario auto valutativo delle conoscenze acquisite in classe.	Questionario per l'autovalutazio ne costruito dall'insegnante.

Prima fase: Engage

In questa prima fase del progetto investigativo l'insegnante deve attirare l'attenzione ed accendere la curiosità degli alunni sulla questione che verrà trattata, ovvero la problematica dell'inquinamento ambientale dovuto all'eccessiva produzione e al relativo accumulo di rifiuti plastici nell'ambiente, in particolare nei mari. Lo scopo di questa prima fase è anche quello di portare alla luce le misconcezioni che gli alunni hanno sull'argomento, senza tuttavia anticipare nulla di ciò che verrà trattato nelle fasi seguenti. La domanda di ricerca che muoverà gli alunni in questa fase di *Engage* è la seguente: "Cosa sappiamo sui rifiuti e l'ambiente"?

In questa prima lezione, l'insegnante inizia con il proporre un *brainstorming* per fare emergere tutti i concetti che gli alunni hanno attorno al concetto di "rifiuti e ambiente". Alcuni di essi parleranno di bottigliette di plastica, lattine, mozziconi di sigarette ed altri esempi collegati alla loro esperienza quotidiana: sono tutti ottimi spunti da valorizzare e su cui si può discutere brevemente per portare alla luce ciò che gli alunni già conoscono su questo argomento. Successivamente, per indirizzare gli interventi dei ragazzi verso la problematica specifica dei rifiuti plastici, l'insegnante mostra alla classe una fotografia (facilmente reperibile in Internet) del

Pacific Trash Vortex, ossia dell'isola di plastica galleggiante presente nell'oceano Pacifico, costituita da enormi quantità di rifiuti plastici. Questa fotografia ha lo scopo di suscitare stupore e generare dubbi e domande negli alunni; l'insegnante in questa fase deve guidare gli interventi della classe con domande guida:

- Questa fotografia è reale? Che tipo di rifiuti sono quelli che vedete?
- Perché secondo voi questi rifiuti sono pericolosi per l'ambiente?
- Avete mai fatto caso a quanta plastica c'è nei prodotti che acquistiamo?
- Anche noi produciamo tanti rifiuti plastici?

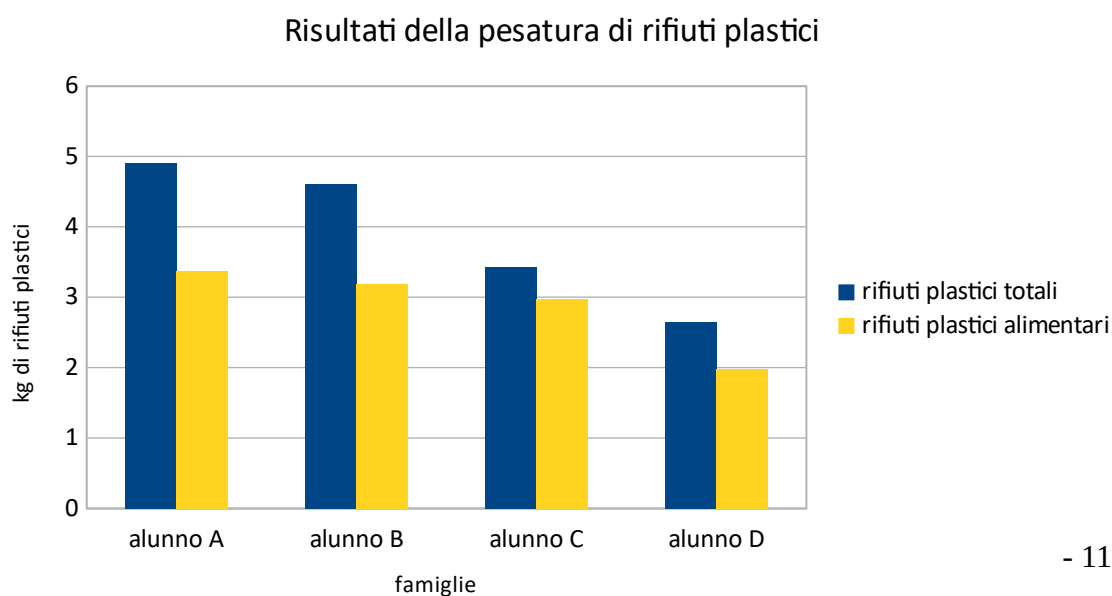
Il focus di questa prima fase di progetto è raccogliere tutte le considerazioni degli alunni riguardo la pericolosità dell'accumulo di rifiuti (in particolare quelli plastici) nell'ambiente, portandoli a riflettere anche sulla grande quantità di plastica presente nei supermercati e, conseguentemente, nelle loro case. L'insegnante deve inoltre far crescere in loro la curiosità di scoprire quanta plastica viene prodotta da un singolo individuo perciò, al termine della lezione, se non è emerso dagli stessi alunni, egli proporrà alla classe di fare un'indagine sulla produzione di plastica in ogni famiglia.

Seconda fase: Explore

In questa fase comincia l'investigazione scientifica da parte degli alunni; le domande da investigare saranno due, la prima è "Quanti rifiuti plastici produciamo a settimana?"; dai risultati che emergeranno, l'insegnante chiederà agli alunni di isolare la plastica proveniente dai prodotti alimentari per rispondere alla seconda domanda di ricerca: "Quanti di questi rifiuti provengono dall'industria alimentare?". Lo scopo dell'attività è quello di aumentare negli alunni la consapevolezza della grande quantità di plastica prodotta da ognuno di loro, mettendo in evidenza il fatto che gran parte di questa quantità proviene dagli alimenti che acquistiamo al supermercato. Prima di iniziare la ricerca, a ciascun alunno viene chiesto di raccogliere, durante una settimana intera, tutti gli imballaggi di plastica prodotti dalla propria famiglia: cestini della frutta, flaconi di detersivi, pacchetti di patatine, retine di limoni e qualsiasi altro piccolo frammento di plastica andrà riposto in un sacco e portato a scuola. Una volta che ciascun alunno avrà il suo sacco di rifiuti e

lo avrà portato a scuola, l'attività può iniziare. In una prima lezione, della durata di due ore, l'insegnante suddivide la classe in quattro gruppi, ciascuno dotato di una bilancia pesa persone: essi dovranno pesare la quantità di plastica (il sacco intero) prodotta dalla famiglia di ogni singolo membro e registrarne i dati ottenuti sul quaderno. Questi valori, espressi in kg, indicano la produzione settimanale di plastica di ciascuna famiglia del gruppo, ad esempio la famiglia dell'alunno Mario Rossi in una settimana ha prodotto 3,3 kg di rifiuti plastici.

Giunti a questo punto bisogna fare un passo avanti: ad ogni gruppo l'insegnante chiederà di calcolare soltanto il peso dei rifiuti derivanti dall'industria alimentare, ossia di quei prodotti destinati all'alimentazione umana (sono incluse le bottigliette dell'acqua), scartando perciò tutti i rifiuti che non costituiscono imballaggio di cibi o bevande. Mediante questa operazione, gli alunni si accorgeranno che questi rifiuti sono numerosi e costituiscono gran parte del peso dei rifiuti totali. Al termine dell'attività di pesatura, i gruppi si trasferiranno al computer per costruire un istogramma che dovrà riportare due barre per ciascuna famiglia del gruppo: la prima (blu) esprime la quantità di rifiuti plastici totali prodotti da ciascuna famiglia del gruppo, la seconda (gialla) indica solamente la quantità di rifiuti provenienti dall'industria alimentare: in tal modo saranno evidenti anche visivamente le differenze tra le due diverse pesate. L'immagine qui sotto rappresenta un esempio di istogramma.



Una volta terminata la costruzione dei grafici, questi verranno stampati e consegnati all'insegnante, la quale sintetizzerà tutti i dati dei diversi gruppi e costruirà un unico istogramma contenente i dati di tutte le famiglie della classe, che serviranno per la lezione successiva.

Nella lezione successiva, anch'essa della durata di due ore, la fase di *Explore* prosegue: l'insegnante forma gli stessi gruppi di partenza e a ciascuno di essi consegna un atlante geografico e una copia dell'istogramma (elaborato da lui stesso) contenente i dati di tutta la classe a partire dai quali dovranno calcolare tre valori:

- la produzione media di rifiuti plastici totali della classe;
- la produzione media di rifiuti plastici alimentari della classe;
- la produzione media di rifiuti plastici della propria regione e della propria nazione.

Trovandoci ancora nella fase di *Explore*, è importante che l'insegnante non intervenga fornendo aiuti concettuali agli studenti, ma che li incentivi ad utilizzare le loro conoscenze per risolvere il compito assegnato; l'unico aiuto che l'adulto può fornire in questa attività è di natura tecnica e consiste nel suggerire alla classe come calcolare il valore medio nel caso in cui questo argomento non sia stato ancora affrontato dai ragazzi in matematica. Egli potrà allora suggerire che la media si calcola sommando tutti i valori e poi dividendo per il numero di valori presi in considerazione; per quanto riguarda il calcolo della media della propria regione e nazione invece, è sufficiente partire dall'indicatore medio della propria classe e moltiplicarlo per il numero degli individui della popolazione regionale e nazionale. Questi ultimi dati possono essere ricavati dall'atlante geografico. Al termine dell'attività l'insegnante lascerà qualche minuto ai gruppi per discutere sui risultati emersi: egli prenderà nota delle eventuali misconcezioni per parlarne nella fase successiva.

Terza fase: Explain

In questa fase l'insegnante deve collegare i risultati della ricerca ottenuti dai singoli gruppi mettendoli in relazione con la problematica ambientale reale dei rifiuti

plastici, fornendo il lessico specifico della disciplina e chiarendo le eventuali misconcezioni emerse dagli alunni nelle fasi precedenti. La fase di Explain si compone di due lezioni.

In una prima lezione ciascun gruppo avrà a disposizione un tempo limitato per esporre alla classe i risultati emersi sia dall'attività di pesatura, servendosi del grafico costruito, sia dall'attività di calcolo dei valori medi di rifiuti plastici. I compagni e l'insegnante possono ora intervenire per chiedere dei chiarimenti o porre domande al gruppo.

La seconda lezione servirà a fornire alla classe i contenuti specifici dell'argomento in oggetto e vedrà perciò il ruolo centrale dell'insegnante; la domanda di ricerca è la seguente: "Quali sono i danni ambientali provocati dall'accumulo di rifiuti plastici?" Servendosi di materiale informativo di vario genere (video, documenti scritti e fotografie reperibili su Internet), l'insegnante dovrà sottolineare la portata globale e l'importanza di questa problematica per l'ambiente (in particolar modo per il mare), e per i viventi. La plastica non viene subito degradata dall'ambiente perciò, a causa dei lunghissimi tempi di decomposizione, si accumula per millenni in natura, provocando gravi danni agli esseri viventi (ingerimento e quindi soffocamento); a tal proposito egli può paragonare i differenti tempi di degradazione di diversi materiali (carta, alluminio, vetro, stoffa, sigarette) evidenziando che la plastica impiega più di 400 anni per degradarsi.

Riprendendo i risultati emersi dalle ricerche di gruppo, l'insegnante dovrà inoltre mettere in risalto quanto l'industria alimentare contribuisca ad aumentare la minaccia dei rifiuti plastici, dato che buona parte di essi provengono proprio dal settore alimentare: egli potrà servirsi di fotografie scattate nei supermercati per evidenziare quanta plastica viene utilizzata per produrre gli imballaggi degli alimenti e potrà chiedere agli studenti di fornire qualche esempio a partire dalla loro esperienza. La plastica che proviene dall'alimentazione però, può tornare nell'alimentazione. È questa un'altra conseguenza negativa dell'accumulo di plastica nell'ambiente: il caso delle micro plastiche presenti nei mari che vengono ingerite dai pesci e che entrano nella catena alimentare fino ad arrivare all'uomo.

Senza assumere un atteggiamento allarmistico, l'insegnante dovrà sottolineare anche questo aspetto.

Infine, gli studenti si domanderanno cosa è possibile fare concretamente per ridurre il consumo di plastica; a tal proposito l'insegnante, con l'aiuto dei ragazzi, potrà fornire alcune buone prassi da attuare ogni giorno, sia al momento della spesa sia in casa: scegliere prodotti sfusi e non confezionati (ad esempio la frutta), procurarsi una sacca di tela per fare la spesa, se possibile bere acqua dal rubinetto, preparare cibi in casa da sostituire alle merendine confezionate ed utilizzare una borraccia riutilizzabile al posto di acquistare bottigliette d'acqua di plastica.

Quarta fase: Elaborate

Nella fase di Elaborate, attraverso nuove esperienze, gli studenti trasferiscono ciò che hanno imparato in nuove attività e sviluppano una comprensione più ampia e profonda dei concetti trattati andando oltre alle conoscenze acquisite in fase di *Explore* e migliorando le loro abilità e competenze. In questa fase, una volta compresa l'importanza della problematica dei rifiuti plastici per l'inquinamento ambientale, agli alunni viene richiesto di andare oltre: conoscere i diversi tipi di materiale plastico (con le relative sigle) e i loro utilizzi nell'industria, scoprire quali di questi possono essere riciclati e cimentarsi in un'attività creativa di trasformazione di rifiuti plastici in oggetti di utilizzo comune. Le attività qui proposte rispondono dunque alle seguenti domanda di ricerca: "Quanti tipi di plastica esistono? Come vengono riciclati? I rifiuti plastici possono essere trasformati in oggetti utili?" Anche questa fase comprende due attività.

La prima, della durata di due ore, consiste nella costruzione a piccoli gruppi di una carta d'identità della plastica attraverso una ricerca a gruppi fatta al computer. Ecco le informazioni che gli alunni dovranno ricercare e che dovranno essere trascritte sul cartellone:

- tipi di plastiche differenti e sigle;
- come vengono utilizzati i diversi tipi di plastiche;
- quali sono gli unici tipi riciclabili;

- in cosa vengono trasformati;
- curiosità scoperte con la ricerca.

Gli alunni, servendosi del computer, devono scoprire tutti i tipi di plastica esistenti (con le relative sigle) e scriverli su un cartellone, specificando per ciascuno di essi quali sono gli utilizzi nell'industria: il PET (polietilentereftalato) ad esempio viene utilizzato per la produzione di bottiglie di plastica, di buste per l'insalata e di fibre sintetiche. Dopo aver fatto ciò essi dovranno scoprire quali sono i materiali plastici in grado di essere riciclati (PE, PET, PVC) e in quali oggetti si trasformano. Tutte queste informazioni sono facilmente reperibili su Internet. L'obiettivo di questa attività è che gli alunni imparino a distinguere che la plastica non è tutta uguale e che comprendano l'importanza della raccolta differenziata per permettere il riciclo della plastica e la successiva produzione di nuovi oggetti (carrelli della spesa, panchine ecc..). Attraverso questo lavoro di gruppo essi avranno inoltre modo di approfondire alcuni aspetti di questo materiale che prima non conoscevano e che potranno inserire all'interno dello spazio riservato alle curiosità. Al termine dell'attività ciascun gruppo esporrà il proprio cartellone alla classe e ci sarà un momento di discussione collettiva guidato dall'insegnante. Questa attività vuole mettere l'accento sull'importanza di riciclare il materiale plastico attraverso la raccolta differenziata al fine di conferirgli nuova "vita" e dunque nuovi utilizzi tuttavia, è bene ricordare agli alunni che prima ancora di riciclare è necessario ed urgente che ciascuno di noi riduca la quantità di plastica acquistata: questo in virtù del fatto che i tempi di decomposizione di questo materiale sono molto lunghi e il suo accumulo nei diversi ecosistemi provoca gravi danni ambientali e agli esseri viventi. È bene rammentare agli studenti l'importanza di mettere in atto le buone prassi per la riduzione della produzione di plastica e di diffonderle il più possibile anche alle proprie famiglie.

La seconda attività, della durata di un'ora e mezza circa, consiste in un laboratorio creativo in cui la classe, suddivisa in piccoli gruppi deve cimentarsi nella costruzione di oggetti di utilizzo comune a partire da rifiuti plastici. Per l'attività potranno essere utilizzati tutti i rifiuti necessari che erano serviti in fase di *Explore*.

Ciascun gruppo potrà decidere da solo cosa creare e come decorarlo (chi è a corto di idee potrà consultare alcuni siti Internet i quali offrono molti spunti a riguardo: portapenne, cornici, ecc..) e al termine del laboratorio ogni creazione verrà presentata al resto della classe. Per rendere il tutto ancora più divertente l'insegnante può dirigere una votazione che assegnerà un premio al gruppo che avrà avuto l'idea più originale.

Quinta fase: Evaluate

Ecco riassunte nella tabella sottostante le conoscenze, competenze e abilità desiderabili che costituiscono le evidenze di accettabilità per questo progetto.

Conoscenze	Abilità	Competenze
Gli studenti comprendono che l'accumulo di rifiuti plastici costituisce una minaccia per l'ambiente, per gli esseri viventi (soprattutto quelli marini) e per gli umani a seguito della formazione di micro plastiche. Sanno che l'industria alimentare riveste un ruolo importante nella produzione di rifiuti plastici e che ciascuno di noi produce grande quantità di questi rifiuti; essi conoscono i diversi tipi di materiali plastici e quali sono quelli che	Gli studenti sanno utilizzare strumenti di misurazione del peso e sintetizzano i dati raccolti in grafici a istogramma; essi sanno utilizzare le tecnologie informatiche per compiere ricerche sull'argomento e discutono le loro opinioni con i compagni. Sanno inoltre esporre oralmente i risultati delle loro ricerche alla classe.	Gli studenti sono consapevoli della portata globale del problema dei rifiuti plastici e riconoscono il ruolo dell'industria alimentare in questa problematica. Essi sanno attuare semplici buone prassi per ridurre il proprio impatto in termine di produzione di rifiuti plastici ed hanno acquisito un sensibilità nei confronti della raccolta differenziata.

possono essere riciclati.		
---------------------------	--	--

Sulla base delle evidenze di accettabilità presenti nella tabella, per questo progetto le valutazioni sono di due tipi:

- **Formativa:** dovrà tenere conto dell'intero processo di apprendimento di ogni alunno e del suo ruolo all'interno del gruppo di ricerca e dei gruppi di discussione;
- **Autovalutazione:** agli studenti verrà sottoposto un questionario con domande aperte e a scelta multipla costruito dall'insegnante in cui essi avranno modo di auto valutare le proprie conoscenze teoriche sull'argomento affrontato in classe.

Conclusioni

Attraverso questo lavoro di tesi ho voluto portare all'attenzione un argomento che oggi è di rilevante importanza per il benessere e la sopravvivenza degli ecosistemi naturali e, conseguentemente, dell'uomo: l'educazione alla sostenibilità ambientale ed alimentare.

La prima parte della tesi, di carattere più teorico e descrittivo, mi ha permesso di sottolineare l'importanza del ruolo della biodiversità nel mantenimento di numerosi equilibri naturali, sia a livello di scambi energetici che di servizi e forniture indispensabili a garantire la vita sul nostro pianeta. Successivamente, attraverso un'analisi di dati riferiti alla situazione mondiale attuale, ho potuto mettere in evidenza come le recenti attività antropiche, comprese le moderne tecniche di produzione alimentare, abbiano giocato un ruolo decisivo nell'attuale perdita di biodiversità e nell'alterazione dei cicli naturali, come quelli del carbonio e dell'azoto, dando il via ad una serie di fenomeni che oggi prendono il nome di cambiamenti climatici. Gli alunni di diverso grado scolastico, come emerso dagli studi che ho preso in esame, possiedono numerose misconcezioni riferite alle attuali tematiche ambientali: è emersa una generale confusione tra i concetti di effetto serra e buco nell'ozono, il primo spesso considerato unicamente come fenomeno negativo e il secondo annoverato tra le principali cause dell'aumento di temperature sulla terra; è inoltre diffusa negli studenti la tendenza a confondere la nozione di clima con quella di tempo atmosferico e ad ingigantire le stime dell'aumento di temperatura sul nostro pianeta. Per quanto riguarda invece il concetto di biodiversità, la maggior parte di essi tende a riferirla unicamente al regno animale, ignorando la fitta rete di interrelazioni che collega tutti i regni dei viventi. Di fronte allo scenario attuale, caratterizzato da importanti cambiamenti ambientali su scala globale, l'educazione ambientale ed alimentare delle nuove generazioni costituisce uno strumento indispensabile per promuovere uno sviluppo sostenibile. A tal proposito, nel mio lavoro di tesi ho indagato un approccio didattico utile a superare le misconcezioni degli studenti sulle tematiche ambientali attuali e capace di

accrescere in loro la passione e la motivazione per l'apprendimento delle scienze: l'*Inquiry-based science education (IBSE)*. Tale approccio consente agli alunni di elargire le proprie conoscenze scientifiche attraverso l'investigazione, la raccolta di dati, l'analisi e la discussione. Proporre l'*Inquiry* in aula significa trasformare la classe in un laboratorio di ricerca in cui gli studenti, nelle spoglie di piccoli scienziati, indagano domande scientifiche su temi attuali per giungere, attraverso diverse fasi, ad una comprensione profonda e significativa della realtà ambientale in cui vivono. L'approccio IBSE per sua natura, è in grado di aumentare negli alunni l'interesse e il coinvolgimento nei confronti delle scienze e costituisce dunque un valido strumento per sensibilizzarli al tema della sostenibilità ambientale ed alimentare, favorendo in loro la spinta al cambiamento. Nel terzo capitolo della tesi infatti, ho formulato tre proposte didattiche basate sull'approccio IBSE che intendono sviluppare negli studenti la consapevolezza riguardo a tre specifiche tematiche ambientali: l'importanza della biodiversità, l'attuale impronta ecologica dell'uomo e l'inquinamento da materiale plastico.

La realtà ambientale in cui viviamo è complessa, multidimensionale e in continua evoluzione: ecco perché si rende necessaria una didattica delle scienze che sappia indagare su di essa in modo critico e curioso, motivando gli studenti ad agire per migliorare il proprio comportamento verso un futuro ambientale più sostenibile.

Considerazioni personali

L'amore per l'ambiente e per gli esseri viventi che lo popolano ha sempre suscitato in me un senso di meraviglia nei confronti di tutta la biodiversità che ci circonda e, parallelamente, mi ha spinto ad interrogarmi su quale fosse il ruolo e la posizione dell'uomo in questa fitta trama vitale. Quando ho scelto di trattare il tema della sostenibilità ambientale, con particolare riferimento al ruolo che l'industria alimentare ha nel produrre effetti sull'ambiente, non avrei mai immaginato quanto il ruolo dell'essere umano nello sfruttare a proprio vantaggio le risorse naturali e la biodiversità sia stato decisivo nell'alterare i delicati equilibri ambientali, arrecando gravi danni sia all'ambiente che agli esseri viventi. Via via che le mie ricerche procedevano cresceva così il mio stupore, lo sconcerto ma anche la voglia di cambiare le cose, consapevole del fatto che anche piccoli passi in avanti verso la sostenibilità ambientale avrebbero significato molto per il pianeta. Con questo lavoro di tesi forse non cambierò il mondo, ma cambierò e migliorerò me stessa, e allora evolveranno anche le mie idee, le mie azioni, e queste saranno di esempio per qualcuno. Solo così, forse, potremo a piccoli passi migliorare la terra che ci ospita, ed esprimere riconoscenza per tutto ciò che ogni giorno gratuitamente ci offre. Questo è quello che auguro ad ognuno di voi.

Bibliografia

- Amerini R., Battiston R., “*La sottile linea di confine tra lo scoiattolo rosso Sciurus Vulgaris e lo scoiattolo grigio Sciurus Carolinensis in Veneto: problematiche annunciate e prospettive di sviluppo*”, Reaearch Gate, January 2016.
- Andersen K., Khun K., “*Cowspiracy il segreto della sostenibilità*”, Edizioni Sonda, Alessandria, 2016.
- Angelini A. (a cura di), “*Beni comuni e cambiamenti climatici*”, ed. fotografica, Palermo, 2008.
- Barbiero G., “*Ecologia affettiva*”, Mondadori, 2017.
- Bertolino F., Perazzone A., “*La città sottovetro: ecologia, etica, educazione alla sostenibilità*”, in E. Falchetti, S. Caravita (a cura di), “*Per una ecologia dell’educazione ambientale*”, Torino, Scholè Futuro, 2005.
- Bologna G., “*Sostenibilità in pillole*”, edizioni ambiente, Milano, 2013.
- Bozzini E., “*Nutrire il pianeta? Produrre cibo per tutti nell’era del cambiamento climatico*”, Carocci editore, Roma, 2017.
- Burns, Douglas A., Aherne, Julian, Gay, David A., Lehmann, Christopher M. B., “*Acid rain and its environmental effects: Recent scientific advances*”, Atmospheric Environment, vol. 146, pp. 1-4, 2016.
- Buzzi Lurati F., Petrini O., Tesi: “*L’alimentazione sostenibile: la problematica del chilometro zero pone le basi per la chiusura del percorso didattico sul ciclo del carbonio*”, scuola universitaria professionale della svizzera italiana, 2015.
- Calvani A., “*Come fare una lezione efficace*”, Carocci editore, Roma, 2017.
- Choi S., Niyogi D., Shepardson D. P., Charusombat U., “*Do earth and environmental Science textbooks promote middle and high school students’ conceptual development about climate change?*”, American Meteorological Society, pp. 889-898, 2010.
- Coggi, Ricchiardi, “*Educare allo sviluppo sostenibile e alla solidarietà internazionale*”, Pensa MultiMedia editore, Lecce, 2014.

- Cordero E. C., Todd A. M., Abellera D., “*Climate change education and the ecological footprint*”, American Meteorological Society, pp. 865-872, 2008.
- Costanza R. et al., “*The Value of the World’s Ecosystem Services and Natural Capital*”, Nature, vol. 387; pp. 253-260, 1997.
- Curtis H., Sue Barnes N., “*Invito alla biologia*”, scienze Zanichelli, Bologna, 2013.
- Doney S. C., Fabry V. J., Feely R. A., Kleypas J. A., “*Ocean acidification: the other CO₂ problem*”, Annual review of marine science, vol. 1, pp. 169-192, 2009.
- Facchini M. C., Fuzzi S., “*Qualità dell’aria e cambiamenti climatici: due facce della stessa medaglia*”, Istituto di scienze dell’atmosfera e del clima, Ingegneria dell’ambiente, vol. 4, no. 4, 2017.
- Gore A., “*La scelta*”, Rizzoli, 2009.
- Gowda M. V., Fox J. C., Magelky R. D., “*Students' understanding of climate change: insights for scientists and educators*”, Educational Affairs, vol. 78, No. 10, pp. 2232-2240, 1997.
- Gurnell J., “*The effects of food availability and winter weather on the dynamics of a grey squirrel population in southern England*”, Journal of Applied Ecology 33: 325-338, 1996.
- Kenward R.E., Holm J.L., “*On the replacement of the red squirrel in Britain: a phytotoxic explanation*”, Proc. R. Soc. Lond. B., vol. 25, pp. 187-197, 1993.
- Kenward R.E., Tonkin J.M., “*Red and Grey squirrels: some behavioral and biometric differences*” Journal of Zoology vol. 209, pp. 279-281, 1986.
- Kilinc A., Yeşiltaş N. K., Kartal T., Demiral Ü., Eroğlu B., “*School Students’ Conceptions about Biodiversity Loss: Definitions, Reasons, Results and Solutions*”, Springer Science and Business Media, Res Sci Educ, 2013.
- Kolbert E., “*The sixth extinction: an unnatural History, Henry Holt and Company*”, New York, 2014.
- Laffoley D., Baxter J. M., “*Explaining ocean warming: causes, scale, effects and consequences*”, IUCN, 2016.

- Lombardi D., Sinatra G. M., “*College Students’ Perceptions About the Plausibility of Human-Induced Climate Change*”, Springer Science and Business Media, Res Sci Educ vol.42, pp. 201–217, 2010.
- Lymbery P., “*Farmageddon, il vero prezzo della carne economica*”, Nutrimenti, 2014.
- Martinoli A., Bertolino S., Preatoni D.G., Balduzzi A., Marsan A., Genovesi P., Tosi G., Wauters L.A., “*The multiplication of the grey squirrel populations introduced in Italy*”, Hystrix Italian Journal of Mammalogy, vol. 21, pp. 127-136, 2010.
- Mekonnen M. M., Hoekstra A. Y., “*Four billion people facing severe water scarcity*”, Science Advances, 12 February 2016, vol. 2, no. 2.
- Notestein F. W., Frank Notestein “*On population growth and economic development*” in “*Population and development review*”, vol. 9, 2, pp. 345-360, 1983.
- Oppenlander R. A., “*Comfortably Unaware: what we chose to eat is killing us and our planet*”, Beaufort Books, New York, 2012.
- Pachauri R.K., “*Global warming! The impact of meat production and consumption on climate change*”, conferenza di Ciwf in memoria di Peter Roberts, Londra, 2008.
- Papadimitriou V., “*Prospective primary teachers' understanding of climate change, greenhouse effect, and ozone layer depletion*”, Journal of science education and technology, vol. 13, pp. 299-307, 2004.
- Reid P. C., “*Ocean warming: setting the scene*” in “*Explaining ocean warming: causes, scale, effects and consequences*”, Laffoley D., Baxter J. M., IUCN, september 2016.
- Rye J. A., Rubba P. A., Wiesenmayer R. L., “*An investigation of middle school students’ alternative conceptions of global warming*”, International journal of science education, vol. 19, pp. 527-551, 1997.
- Scapellato B., “*Inquiry-Based Science Education dalla teoria alla pratica: l’approccio IBSE per una comprensione profonda delle scienze naturali*”, Pearson, Torino, 2017.
- Smith T.M., Smith R.L., “*Elementi di ecologia*”, ottava edizione italiana a cura di Occhipinti Ambrogi A. e Marchini A., Pearson, Milano, 2013.

- Suduc A., Bizoi M., Gorghiu G., “*Inquiry Based Science Learning in Primary Education*”, *Social and Behavioral Sciences* vol. 205, pp. 474 – 479, 2015.
- Wackernagel M., Rees W., “*L'impronta ecologica*”, Edizioni Ambiente, Milano, 1996.
- Wauters L.A., Tosi G., Gurnell J., 2002, “*Inter-specific competition in tree squirrels: do introduced grey squirrels (Sciurus carolinensis) deplete tree seeds hoarded by red squirrels (Sciurus vulgaris)?*” *Behav. Ecol. Sociobiol.*, vol. 51, pp. 360-367.
- Wilcox C., Van Sebille E., and Hardesty B. D., “*Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing*”, *PNAS*, vol. 112, no. 38, 2015.

Sitografia

- WWF.it <https://www.wwf.it/>
- Treccani.it <http://www.treccani.it/>
- Chimica-online.it <https://www.chimica-online.it>
- Millennium assessment.org <https://www.millenniumassessment.org/>
- WWF.it <https://www.wwf.it/>
- Education21.ch portale Educazione allo Sviluppo Sostenibile
<https://www.education21.ch>
- Unibo.it <https://magazine.unibo.it/>
- Thevision.com <https://thevision.com/>
- Ambientebio.it <https://www.ambientebio.it/>
- FAO.org <http://www.fao.org/>
- Angelini.it <https://www.angelini.it/>
- Ispionline.it <https://essay.ispionline.it/>
- Unesco.org <http://www.unesco.org/>
- Convenzione sulla diversità biologica (PDF) <https://www.naturaitalia.it/>
- CBD.int <https://www.cbd.int/>
- Cepf.net <https://www.cepf.net/>
- WWF.panda.org <https://wwf.panda.org/>
- Ipbes.net <https://www.ipbes.net/>
- Mongabay.com <https://it.mongabay.com/>
- Actionbioscience.org <http://actionbioscience.org/>
- Parks.it <http://www.parks.it/>
- CDIAC.ess-dive.lbl.gov <https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/>
- FAO.org <http://www.fao.org/>
- Epa.gov <https://www.epa.gov/>
- Worldometers.info <https://www.worldometers.info/it/>
- UnitedNations.org <https://www.un.org/>
- ISMAR <https://storage.googleapis.com/>

- Waterfootprint.org <https://waterfootprint.org/>
- Ilfattoalimentare.it <https://ilfattoalimentare.it/>
- WWF.it <https://www.wwf.it/>
- Climate.nasa.gov <https://climate.nasa.gov/>
- NSIDC.org <https://nsidc.org/>
- Bloomberg.com <https://www.bloomberg.com/>
- Rinnovabili.it <http://www.rinnovabili.it/>
- Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo d'istruzione (2012) <http://www.indicazioninazionali.it/>
- Calcolatore di impronta ecologica WWF <http://www.improntawwf.it/>